

INFORMATION REPORT INFORMATION REPORT

CENTRAL INTELLIGENCE AGENCY

This material contains information affecting the National Defense of the United States within the meaning of the Espionage Laws, Title 18, U.S.C. Secs. 793 and 794, the transmission or revelation of which in any manner to an unauthorized person is prohibited by law.

C-O-N-F-I-D-E-N-T-I-A-L

25X1

COUNTRY USSR

REPORT

SUBJECT Soviet Publications on Chemistry and Atomic Energy

DATE DISTR.

24 August 1957

NO. PAGES

1

REFERENCES

RD

DATE OF INFO.

PLACE & DATE ACQ.

25X1

FIELD REPORT NO.

25X1

SOURCE EVALUATIONS ARE DEFINITIVE. APPRAISAL OF CONTENT IS TENTATIVE.

Soviet books

Zadachi i Uprazhneniya po Obshchey Khimii (Assignments and Exercises on General Chemistry), Nikolay Leonidovich Glinka, 232 pages, published by Goskhimizdat, Moscow, 1958. This is the tenth edition of a book intended for students of higher educational institutions who wish independent study on general chemistry.

Energiya Atomnogo Yadra (Energy of the Atomic Nucleus), Abkar Abkarovich Abdullayev, 132 pages, published by the State Educational-Instructional Publishing House, Ministry of Education, RSFSR, Moscow, 1958. This is part of the "Student's Library" series and is intended to give the reader a real appreciation of the structure of the world which surrounds us.

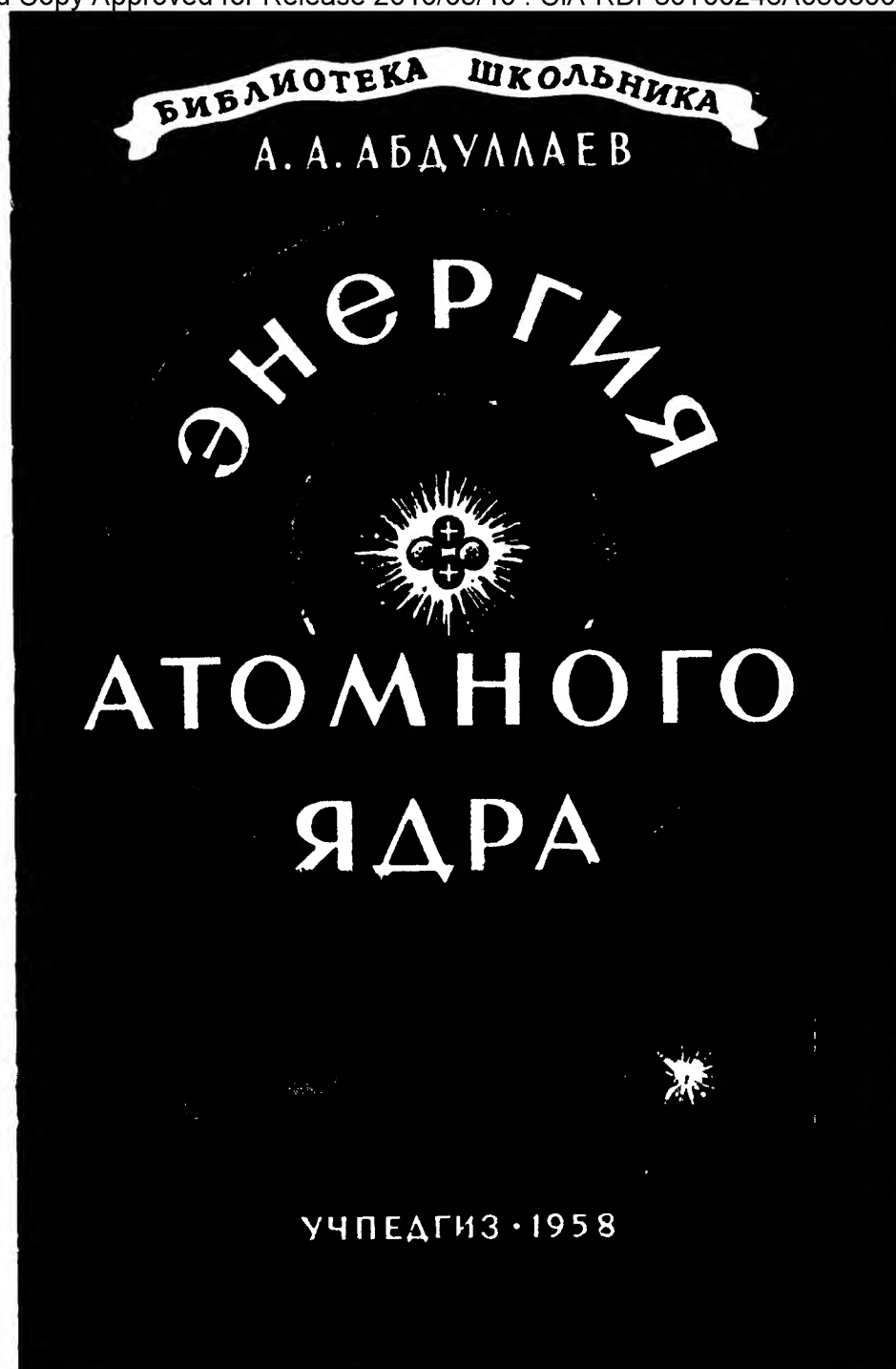
2. The attachments are UNCLASSIFIED when detached from the covering report.

25X1

C-O-N-F-I-D-E-N-T-I-A-L

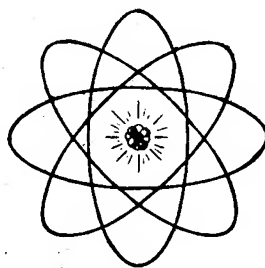
STATE	X	ARMY	X	NAVY	X	AIR	X	FBI		AEC									
(Note: Washington distribution indicated by "X"; Field distribution by "#".)																			

INFORMATION REPORT INFORMATION REPORT



БИБЛИОТЕКА ШКОЛЬНИКА

ЭНЕРГИЯ АТОМНОГО ЯДРА



ГОСУДАРСТВЕННОЕ
УЧЕБНО-ПЕДАГОГИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МИНИСТЕРСТВА ПРОСВЕЩЕНИЯ РСФСР
Москва — 1958

ВВЕДЕНИЕ

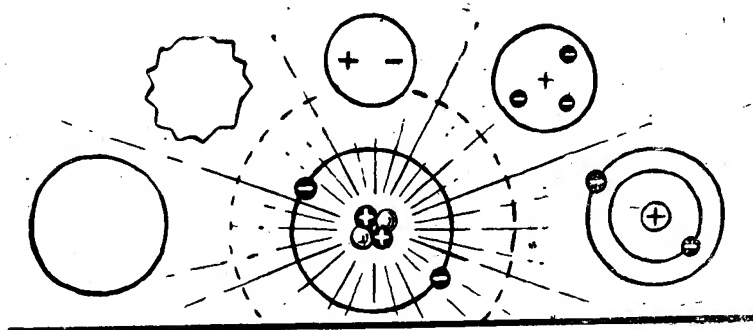
Основная цель этой книжки—рассказать об основах ядерной энергетики, о достигнутых в настоящее время успехах в деле использования атомной энергии в мирных целях в различных областях науки и техники и, наконец, о некоторых возможных перспективах развития этой важнейшей области человеческой деятельности.

Доклады ученых по мирному использованию атомной энергии на сессии Академии наук СССР, на Международной научно-технической конференции в Женеве, материалы Всесоюзной конференции по физике частиц высоких энергий, созванной недавно Академией наук СССР, показали, какими гигантскими темпами в настоящее время идет развитие ядерной энергетики, техники ускорения частиц и применения радиоактивных изотопов. История науки никогда еще не знала таких темпов, с какими развивается в последние десятилетия атомная физика. Вполне естественно, что в таких условиях люди горят желанием хотя бы в общих чертах, в элементарной форме познакомиться с событиями в этой бурно развивающейся области науки.

В этой книге сделана попытка ответить на вопросы о том, что такое атомная энергия, каковы перспективы применения атомной энергии и радиоактивных изотопов в будущем и как обстоит дело с развитием атомной техники, что такое космические лучи и что они нам дают. Чтобы помочь успешно разобраться в этих вопросах, в книге изложен мини-

мум необходимых основ атомной физики. Минимум этот в конечном счете сводится к тому, чтобы ясно представить себе строение атома и его ядра.

Небольшая дополнительная глава посвящена элементарному изложению вопроса о космических лучах. Решение одной из основных проблем современной атомной физики, касающейся природы ядерных сил, тесно связано с изучением взаимодействия космических лучей с веществом. Одна из целей книги—создать у читателя правильное понятие о строении окружающего нас мира.

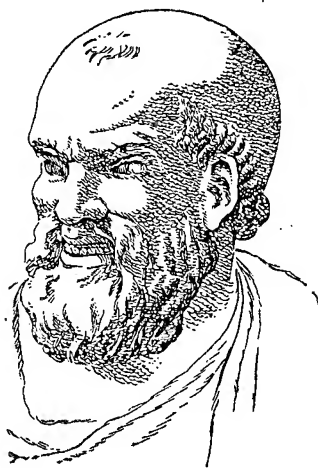


• ИСТОРИЯ АТОМА •

Прежде чем говорить об ядерной энергетике, необходимо вкратце осветить тот путь, который привел ученых к открытию строения атома, познанию его свойств.

Идея об атомном строении мира родилась более чем 2000 лет назад. Древнегреческие мыслители Демокрит, Левкипп, Эпикур и другие объяснили разнообразные явления природы атомным строением вещества. Само слово „атом“—греческое слово, означающее „неделимый“. По представлению древнегреческих ученых атомы были неделимыми, последними „кирпичиками“ мироздания. До XVII столетия нашей эры мало что прибавилось к учению древних. Развитие атомистического учения началось в трудах физиков и химиков Р. Бойля (1627—1691) и Ньютона (1643—1727), М. Ломоносова (1711—1765), Д. Дальтона (1766—1844), А. Авогадро (1776—1856), И. Лошмидта (1821—1895) и других.

С начала XIX в. в атомистику вводятся количественные понятия и величины. Дальтон дал определение атомного веса, открыл закон кратных отношений. В трудах Авогадро было определено, что при одинаковой температуре и давлении идеальные газы содержат в единице объема одинаковое число молекул,



Демокрит.

а Лошмидт определил число молекул в граммолекуле вещества.

В середине XIX в. особое внимание ученых привлекло изучение химических свойств атомов. Располагая химические элементы в порядке возрастания их атомных весов (начиная с самого легкого элемента водорода до самого тяжелого элемента урана), Д. И. Менделеев заметил, что химические свойства элементов периодически повторяются (1869). Выписав элементы с одинаковыми химическими свойствами друг под другом (в группу вертикаль-

ных столбцов), Менделеев построил периодическую систему химических элементов. В современной форме она приведена на рисунке 1. На этой таблице каждый элемент обозначен соответствующей буквой и занимает свою определенную клетку. Рядом с буквами написаны номер (сверху) и атомный вес (снизу) элемента. Зная место элемента на таблице, можно предсказать основные свойства этого элемента. При расположении элементов в таблице по возрастающим атомным весам Менделееву пришлось оставить некоторые клетки пустыми, так как элементы, которые должны были занимать эти клетки, не были известны в то время (всего было получено 63 элемента).

В настоящее время известно 102 различных химических элемента, следовательно, 102 различных сорта атомов, так как каждому химическому элементу соответствует свой определенный сорт атомов.

Напомним, что атом—это наименьшая частичка данного химического элемента, обладающая тем же химическим свойством, что и сам элемент.

Замечательно, что, опираясь на закономерность распределения элементов в таблице, Менделеев предсказал физико-химические свойства ряда элементов, открытых позднее. Речь шла, таким образом, о важ-

Периоды	Г Р У П П Ы Э Л Е М Е Н Т О В									
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
1	H ¹ Водород 1,0080						(H)			He ² Гелий 4,003
2	Li ³ Литий 6,940	Be ⁴ Бериллий 9,013	B ⁵ Бор 10,82	C ⁶ Углерод 12,011	N ⁷ Азот 14,008	O ⁸ Кислород 16,000	F ⁹ Фтор 19,00			Ne ¹⁰ Неон 20,183
3	Na ¹¹ Натрий 22,991	Mg ¹² Магний 24,32	Al ¹³ Алюминий 26,98	Si ¹⁴ Кремний 28,09	P ¹⁵ Фосфор 30,975	S ¹⁶ Сера 32,066	Cl ¹⁷ Хлор 35,457			Ar ¹⁸ Аргон 39,914
4	K ¹⁹ Калий 39,100	Ca ²⁰ Кальций 40,08	Sc ²¹ Скандий 44,96	Ti ²² Титан 47,90	V ²³ Ванадий 50,95	Cr ²⁴ Хром 52,01	Mn ²⁵ Марганец 54,94	Fe ²⁶ Железо 55,85	Co ²⁷ Кобальт 58,94	Ni ²⁸ Никель 58,71
	Cu ²⁹ Медь 63,54	Zn ³⁰ Цинк 65,38	Ga ³¹ Галлий 69,72	Ge ³² Германий 72,60	As ³³ Мышьяк 74,91	Se ³⁴ Селен 78,96	Br ³⁵ Бром 79,916			Kr ³⁶ Криптон 83,8
5	Rb ³⁷ Рубидий 85,48	Sr ³⁸ Стронций 87,63	Y ³⁹ Иттрий 88,92	Zr ⁴⁰ Цирконий 91,22	Nb ⁴¹ Ниобий 92,91	Mo ⁴² Молибден 95,95	Tc ⁴³ Технеций [99]	Ru ⁴⁴ Рутений 101,1	Rh ⁴⁵ Родий 102,94	Pd ⁴⁶ Палладий 106,4
	Ag ⁴⁷ Серебро 107,868	Cd ⁴⁸ Кадмий 112,41	In ⁴⁹ Индий 114,82	Sn ⁵⁰ Олово 118,70	Sb ⁵¹ Сурьма 121,76	Te ⁵² Теллур 127,61	J ⁵³ Йод 126,91			Xe ⁵⁴ Ксенон 131,3
6	Cs ⁵⁵ Цезий 132,91	Ba ⁵⁶ Барий 137,36	La ⁵⁷ Лантан 138,92	Hf ⁷² Гафний 178,50	Ta ⁷³ Тантал 180,95	W ⁷⁴ Вольфрам 183,86	Re ⁷⁵ Рений 186,22	Os ⁷⁶ Осмий 190,2	Ir ⁷⁷ Иридий 193,1	Pt ⁷⁸ Платина 195,09
	Au ⁷⁹ Золото 197,0	Hg ⁸⁰ Ртуть 200,61	Tl ⁸¹ Таллий 204,39	Pb ⁸² Свинец 207,21	Bi ⁸³ Висмут 209,0	Po ⁸⁴ Полоний 210	At ⁸⁵ Астатин [210]			Rn ⁸⁶ Радон 222
7	Fr ⁸⁷ Франций [223]	Ra ⁸⁸ Радий 226,05	Ac ⁸⁹ Актиний 227	Th ⁹⁰	Pa ⁹¹	U ⁹²				
* ЛАНТАНИДЫ										
Ce ⁵⁸ Церий 140,13	Pr ⁵⁹ Пратеродим 140,92	Nd ⁶⁰ Неодим 144,24	Pm ⁶¹ Прометий [145]	Sm ⁶² Самарий 150,35	Eu ⁶³ Европий 152,0	Gd ⁶⁴ Гадолиний 157,26	Tb ⁶⁵ Тербий 158,93	Dy ⁶⁶ Диспрозий 162,51	Ho ⁶⁷ Гольмий 164,94	Er ⁶⁸ Эрбий 167,27
Tu ⁶⁹ Тулий 168,94	Yb ⁷⁰ Иттербий 173,04	Lu ⁷¹ Лютеций 174,99								
** АКТИНИДЫ										
Th ⁹⁰ Торий 232,05	Pa ⁹¹ Протактиний 231	U ⁹² Уран 238,07	Np ⁹³ Нептуний [237]	Pu ⁹⁴ Плутоний [244]	Am ⁹⁵ Америций [243]	Cm ⁹⁶ Кюрий [248]	Bk ⁹⁷ Берклий [249]	Cf ⁹⁸ Калифорний [249]	E ⁹⁹ Эйнштейний [254]	Fm ¹⁰⁰ Фермий [253]
Mv ¹⁰¹ Менделеев [256]										

Рис 1. Периодическая система элементов Д. И. Менделеева.

ном законе природы. Естественно, что ученые начали искать причину открытой Менделеевым закономерности. Об этой причине глубокую догадку высказал уже сам автор открытия.

Говоря о своем открытии, Менделеев писал: „Легко предположить, но ныне пока нет возможности доказать, что атомы простых тел суть сложные вещества, образованные сложением некоторых еще меньших частей, что называемое нами неделимым (атом) неделимо только обычными химическими силами... Выставленная мною периодическая зависимость между свойствами и весом, по-видимому, подтверждает такое предчувствие...“

В 1886 г. А. М. Бутлеров в своей работе „Основные понятия химии“ написал: „Атомы... могут быть разделены в новых порциях, которые будут открыты впоследствии“.

Таким образом, уже химические исследования наталкивали на мысль о сложном строении атома. Однако доказательство того факта, что атом представляет собой сложную систему, раскрытие структуры атома явилось результатом физических исследований.

ОТКРЫТИЕ РАДИОАКТИВНОСТИ

В 1896 г. французский физик Беккерель обнаружил, что тяжелый элемент уран самопроизвольно излучает какие-то невидимые лучи. Исследуя природу этих лучей в магнитном поле, физики установили, что они состоят из α -лучей (поток ионизированных атомов гелия), β -лучей (поток электронов) и γ -лучей (поток электромагнитного излучения высокой частоты). α -лучи как положительно заряженные частицы отклоняются в магнитном поле в одну сторону, а β -лучи как отрицательно заряженные частицы — в другую, противоположную; γ -лучи не испытывают никакого отклонения в магнитном поле (рис. 2).

Вскоре после этого (1898) супруги Складовская-Кюри и Пьер Кюри обнаружили, что таким же свойством испускать невидимые лучи обладают атомы элементов тория, актиния, полония и радия.

Явление самопроизвольного испускания веществом

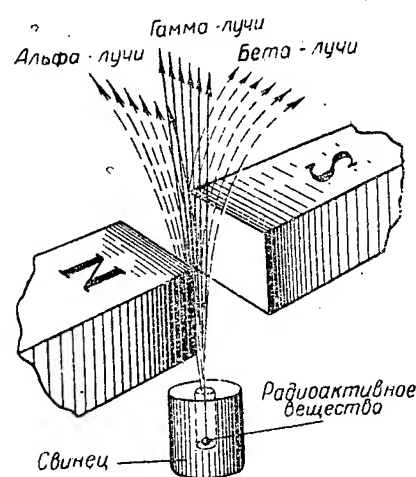


Рис. 2. Действие магнитного поля на лучи, испускаемые радием.

невидимых лучей получило название естественной радиоактивности элементов, а сами элементы — радиоактивных элементов. Само слово радиоактивность происходит от латинского слова „радио“, что означает испускать лучи. Новый элемент радий оказался особенно активным источником, испускающим эти лучи; по этой причине он получил название радий, что в переводе означает излучающий.

Опыты показывают, что такие могущественные средства, как высокие и низкие температуры, сильные электрические магнитные поля, высокие давления, действие различных химических реактивов не влияют на радиоактивные свойства элементов. Скорость испускаемых радиоактивными элементами α -частиц достигает 20 тыс. км/сек, β -частиц — до 290 тыс. км/сек, а скорость же γ -лучей равна скорости света (300 тыс. км/сек). γ -лучи (как и световые лучи) имеют одинаковую природу с радиоволнами, возникающими в результате изменения электромагнитных полей. Отличие их заключается лишь в том, что они имеют очень высокую частоту.

Естественно, что α -, β - и γ -частицы, имея большие скорости, обладают значительной энергией. К тому же радиоактивные вещества выделяют теплоту. Например, один грамм радия, в результате процесса радиоактивного распада, выделяет в течение часа 140 малых калорий тепла. Но надо иметь в виду, что за это время распадается лишь 5 миллиардных долей грамма радия. Теплота же, выделяемая при полном распаде одного грамма радия, составляет примерно 30 тыс. ккал. Этим теплом можно нагреть 30 т холодной воды до кипения. Количество

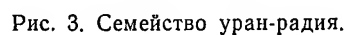


Пьер Кюри.

Мария Кюри.

теплоты, даваемое граммом радия при полном радиоактивном распаде, приблизительно равно теплоте, получаемой при сжигании 400 кг высококачественного угля. Легко представить себе, как велик запас энергии в недрах атомов. Однако, прежде чем удалось извлечь эту энергию и использовать ее для практических целей, науке пришлось пройти долгий и трудный путь.

Исследования показали, что радиоактивные тяжелые элементы в конечном счете превращаются в новые, уже устойчивые элементы. Это превращение происходит через ряд промежуточных этапов. Образуются так называемые семейства—ряды элементов, в которых каждый последующий образуется из предыдущего путем α - или β -излучения. Такими семействами являются: 1) семейство уран-радия, 2) семейство тория, 3) семейство актино-урана и 4) семейство нептуния. Родоначальниками первых трех семейств являются уран 238, торий 232, уран 235; семейство же нептуния получено при искусственном превращении заурановых элементов—нептуния 237 и плутония 241; конечным устойчивым продуктом первого семейства является свинец 206, второго—свинец

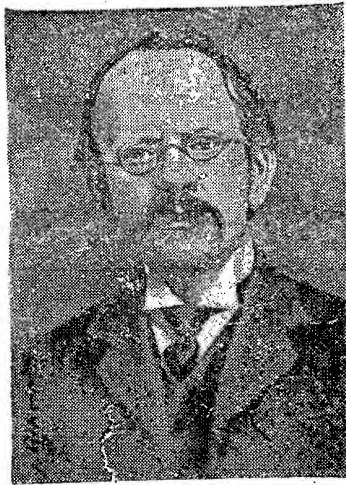


10

Период полураспада, например, урана 238—4,5 млрд. лет, радия—1590 лет. Следовательно, за 4,5 млрд. лет от тонны урана 238 остается половина тонны, от грамма—полграмма. Точно так же обстоит дело с радием и другими радиоактивными веществами. Мы видим, что пройдет много времени прежде чем распадется половина взятого количества урана или радия. Периоды полураспада различных элементов различны и меняются в широких пределах, начиная от миллиардов лет (для урана 238) и кончая долями секунды (например, для одного из изотопов радия). Чем меньше период полураспада, тем реже встречаются элементы в природе. Этим объясняется, например, то, что радий встречается в природе гораздо реже, чем уран. Законы радиоактивного распада элементов используются в различных областях науки. Например, геологи и археологи, опираясь на этот закон, определяют возраст горных пород и различных геологических раскопок.

ПЕРВАЯ МОДЕЛЬ АТОМА

Исследование явления радиоактивности показало, что внутри атомов вещества происходят какие-то сложные процессы, приводящие к выделению теплоты, электромагнитного излучения и заряженных частиц. Стало ясно, что атом имеет сложное строение. Но какова структура атома, какие процессы происходят внутри его—все это оставалось загадкой. Первым подступом к решению задачи выяснения структуры атома было открытие элементарных частиц, переносящих отрицательные заряды,—электронов. Открытие электрона произошло в 1897 г. Вслед за этим были высказаны первые научно обоснованные предположения о строении атома. До 1897 г. было установлено, что атомы являются носителями электрических зарядов и в то же время в нормальном состоянии они электрически нейтральны. Естественно было предположить, что электрические заряды противоположных знаков содержатся в атомах в одинаковых количествах, нейтрализуя друг друга. Но носителями отрицательных зарядов являются электроны. Отсюда возникло следующее представление о



Дж. Дж. Томсон.

строении атома, которое развил английский физик Д. Томсон в 1905 г.

Атом—шарик, заполненный положительным зарядом. В объеме этого шарика распределяются элементарные частицы—электроны, каждый из которых содержит наименьшую порцию отрицательного заряда. Сумма отрицательных зарядов электронов равна положительному заряду, распределенному по всему объему атома.

Такая модель атома была общепризнанной до тех пор, пока английский физик Резерфорд со своими учениками не провел замечательные эксперименты по изучению структуры атома.

ОПЫТЫ РЕЗЕРФОРДА

Резерфорд предложил замечательную идею изучения структуры атома. Суть ее состояла в следующем. Если направить на вещество поток заряженных частиц, то эти частицы при столкновении с атомами вещества будут рассеиваться. Назовем для удобства атомы вещества мишенями, а заряженные частицы, которыми обстреливаются атомы, снарядами. Допустим, что атом построен так, как предполагал Д. Томсон, т. е. положительный заряд распределен по всему его объему. В таком случае вещество будет представлять собой почти сплошную мишень из положительных зарядов. И если на вещество направить, скажем, положительно заряженные частицы, то они должны отталкиваться „стенной“ одноименных положительных зарядов атомов. Вещество, таким образом, должно быть почти непроницаемо для положительно заряженных частиц—снарядов. Резерфорд воспользовался в качестве снарядов α -частицами, которые вы-

брасываются с большой скоростью естественными радиоактивными веществами. α -частицы, как уже говорилось, являются положительно заряженными частицами. Поток таких частиц направлялся на тонкие слои различных металлов, в частности на алюминиевые листочки.

Для регистрации α -частиц, рассеянных атомами мишенями, Резерфорд воспользовался экраном из сернистого цинка. Падая на такой экран, α -частица вызывала вспышку, видимую глазом. Опыты показали, что α -частицы, вопреки ожиданию, в большинстве своем свободно проходили сквозь слой вещества; и на экране, поставленном за исследуемым слоем вещества, обнаруживались многочисленные вспышки (рис. 4). Лишь незначительное число α -частиц испытывало отклонения на различные



Резерфорд.

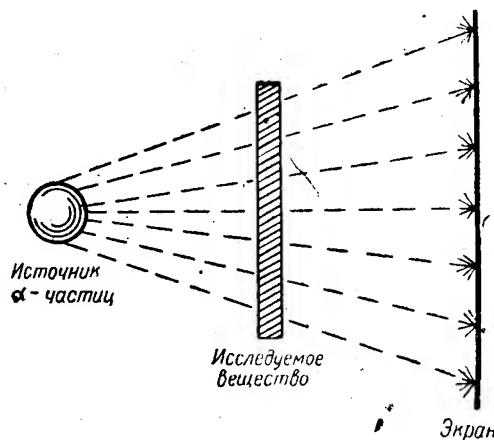


Рис. 4. Прохождение α -частиц сквозь тонкий слой исследуемого вещества.

углы, вплоть до углов, равных 180° . Результаты опытов заставили Резерфорда пересмотреть модель атома, предложенную Д. Томсоном, ибо последняя противоречила этим опытам.

Резерфорд предположил, что положительный заряд сосредоточен в очень малом объеме внутри атома — в так называемом ядре. Отрицательно заряженные электроны окружают ядро, двигаясь на известном расстоянии по орбитам.

Опыты Резерфорда привели к признанию и широкому распространению так называемой „планетарной“ модели атома. Согласно этой модели вокруг положительно заряженного ядра вращаются электроны, как планеты вокруг Солнца; общий отрицательный заряд указанных электронов по абсолютному значению равен положительному заряду ядра, что обеспечивает электрическую нейтральность атома в целом. Строение атомов, например водорода, гелия и лития согласно модели Резерфорда представлено на рисунке 5.

При помощи планетарной модели атома Резерфорду удалось просто и естественно истолковать результаты опытов по рассеянию α -частиц. Масса α -частицы примерно в 7300 раз больше массы электрона¹. Поэтому электроны атомов представляют малое препятствие для α -частиц при их движении в веществе. Препятствовать движению α -частиц могут лишь ядра атомов. Но оказывается, что это препятствие очень редко встречается на пути летящей через атом α -частицы. И вот почему.

¹ Говоря о массе частиц, мы будем иметь в виду массу неподвижной частицы или, как принято говорить, массу покоя. Масса же движущейся частицы согласно теории относительности растет с ростом скорости ее движения по закону:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}},$$

где m — масса движущейся частицы, m_0 — масса покоящейся частицы v — скорость ее движения, а c — скорость света, равная 300 тыс. км/сек. Из этого выражения вытекает, что когда скорость частицы растет, стремясь к скорости света, то масса этой частицы m принимает все большие и большие значения, приближаясь к бесконечно большой величине.

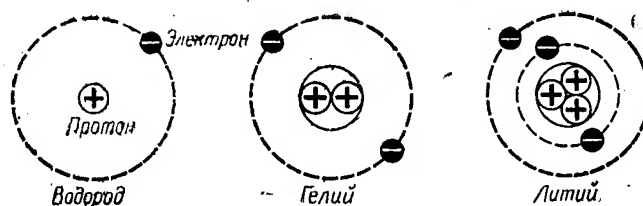


Рис. 5. Схема строения атомов по модели Резерфорда.

Радиус атома составляет около 10^{-8} см, ядро же имеет радиус в сто тысяч раз меньший; таким образом атом оказывается „пустым“. α -частицы также свободно пролетают сквозь атомы, как метеоры сквозь солнечную систему.

Итак, размеры ядер атомов чрезвычайно малы по сравнению с размерами самих атомов.

α -частицы так же редко могут попасть в ядра, расположенные в атомах, как редко могут попасть артиллерийские снаряды в небольшой предмет, расположенный на территории с радиусом сотни метров.

Поскольку все ядра атомов заряжены положительно и α -частицы, являющиеся ядрами атомов гелия, также заряжены положительно, то между ними действуют электрические силы отталкивания или, как говорят, кулоновские силы. Это и приводит к искривлению пути движения α -частиц в веществе. Подобное искривление пути тем больше, чем ближе к ядру пролетит α -частица. Действительно, кулоновская сила убывает обратно пропорционально квадрату расстояния между заряженными частицами, т. е. сила взаимодействия между частицами уменьшается гораздо быстрее, чем увеличивается расстояние между ними. На рисунке 6,а показаны пути (или траектории) движения α -частиц вблизи и вдали от ядра.

Из рисунка видно, что отклонение частицы тем заметнее, чем ближе от ядра она движется. Если же частица летит очень близко от ядра (или прямо на ядро), то она может быть замедлена до полной остановки (отталкивательными силами ядра) и возвращена обратно в прямопротивоположном направлении. На рисунке 6,б дана фотография отклонения α -частицы при ее соударении с ядром атома. Методом

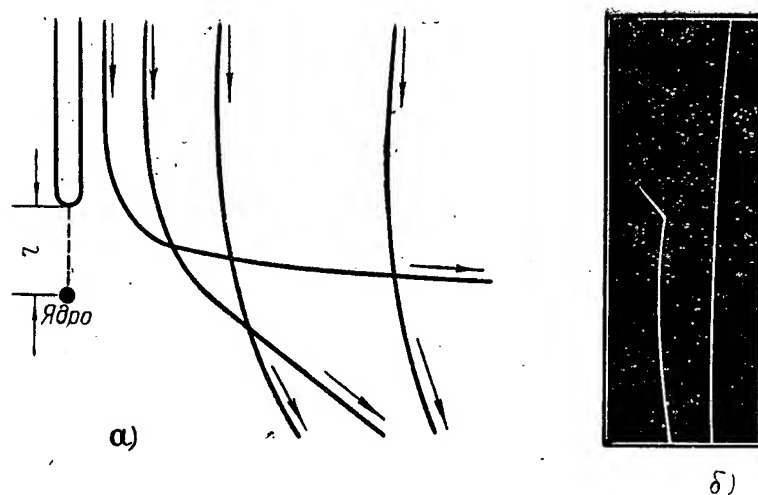


Рис. 6. Процессы прохождения частиц в веществе:
а—отклонение частиц, пролетающих вблизи атомного ядра; б—фотография
излома траектории частицы при встрече с ядром атома.

обстрела ядер заряженными частицами-снарядами удалось установить, что положительный заряд ядра составлен из зарядов тяжелых частиц, которые были названы протонами. Оказалось, что протон почти в 2 тыс. раз тяжелее электрона, заряд же его по величине равен заряду электрона.

Таким образом был открыт путь к объяснению периодической зависимости химических свойств атомов от их атомного веса, выраженной в таблице Менделеева.

СВЯЗЬ ПЛАНЕТАРНОЙ МОДЕЛИ АТОМА С ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Сопоставление строения атомов различных элементов, по Резерфорду, с периодической таблицей химических элементов дало следующее. Атом самого легкого элемента—водорода, занимающего первое место в таблице Менделеева, содержит один протон, вокруг которого вращается один электрон: в атоме гелия, занимающем второе место, содержится два протона и два электрона; атом лития, занимающий

третье место, имеет три протона, вокруг которого вращаются три электрона; тяжелый элемент уран, занимающий 92-е место, содержит 92 протона и 92 электрона и т. д. до 102 элемента. В соответствии с числом протонов заряд ядра водорода равен единице, заряд ядра гелия—двум, заряд ядра лития—трем, заряд ядра урана равен 92 и т. д. (до 102 элемента). Таким образом, порядковый номер элемента в таблице Менделеева определяется числом протонов в ядре атомов этого элемента или числом электронов, вращающихся вокруг ядер атомов.

Электроны вокруг ядер атомов распределяются по орбитам согласно определенной закономерности. На ближайшей к ядру орбите (*K*-орбита) вращается не более двух электронов, на втором слое (*L*-орбита) не более восьми, на третьем (*M*-орбита) не более 18 и т. д. В атоме урана, например, расположение электронов по слоям составляет: 2, 8, 18, 32, 21, 9, 2 (см. таблицу Менделеева на рисунке 1).

Периодическая таблица химических элементов имеет вертикально расположенные группы элементов. Атомы химических элементов каждой из этих групп имеют одинаковое количество электронов во внешней орбите. Например, атомы элементов первой группы: водород, литий, натрий и т. д. имеют во внешних орбитах по одному электрону; атомы элементов второй группы: бериллий, магний, калий и т. д. имеют во внешней орбите по два электрона, а атомы элементов третьей группы—бор, алюминий и т. д.—по три электрона и т. д.

Итак, атомы элементов одной и той же группы, обладающие одинаковыми химическими свойствами, имеют во внешних орбитах одинаковое число электронов. Иначе говоря, химическое сходство элементов можно объяснить одинаковым числом электронов во внешних орбитах атомов этих элементов.

Химически наиболее устойчивы те атомы, на внешних орбитах которых вращаются два или восемь электронов. Такими являются, например, атомы гелия и аргона, расположенные в нулевой группе таблицы. Все атомы стремятся к образованию такой устойчивой системы за счет присоединения к себе электронов от внешней орбиты других атомов. Этим

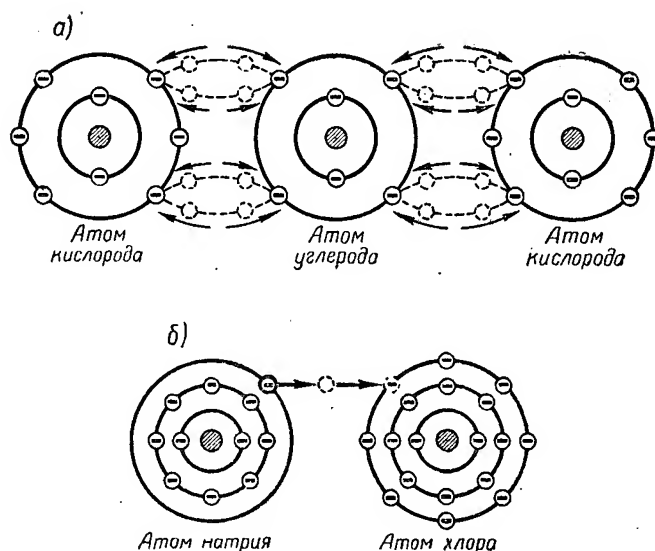


Рис. 7. Схема образования молекул:
а — углекислого газа; б — хлористого натрия.

и объясняется химическая активность атомов и способность их к образованию химического соединения. На рисунке 7 представлены, например, процесс образования молекулы поваренной соли путем химического соединения атомов натрия и хлора, а также и образования молекулы углекислого газа путем химического соединения двух атомов кислорода с одним атомом углерода.

Химические свойства одинаковы у тех элементов, атомы которых имеют одинаковое число электронов во внешней орбите. В этом смысле модель атома Резерфорда, казалось, полностью соответствует периодической таблице элементов.

Однако дальнейшие исследования показали, что планетарная модель нуждается в уточнениях. Речь шла прежде всего об уточнении структуры атомных ядер. Начало этому было снова положено Резерфордом в его замечательных опытах по искусственному превращению элементов.

ИСКУССТВЕННОЕ ПРЕВРАЩЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ

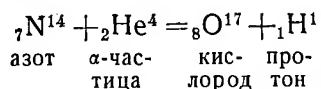
Как выяснилось, заряд ядра определяет место элемента в периодической системе Менделеева, т. е. заряд ядра определяет химическое „лицо“ элемента.

При радиоактивных превращениях атомы элементов, выбрасывая α - или β -частицы, уменьшают заряды ядер и самопроизвольно превращаются в атомы других элементов. Нельзя ли превращение элементов осуществить искусственным путем? Такой вопрос был поставлен Резерфордом и решен в 1919 г.

Резерфорд воспользовался для этой цели тем же методом мишеней и снарядов. Атомы исследуемого вещества он обстреливал α -частицами, испускаемыми радиоактивными веществами. Он надеялся, что при столкновении α -частиц с ядрами атомов исследуемого вещества может произойти не только рассеяние α -частиц, но и их поглощение ядрами. Ядро атома, „проглотив“ α -частицу, изменит свой заряд и таким образом превратится в ядро нового элемента. Опыты блестяще оправдали это предположение.

Бомбардируя атомы азота α -частицами, Резерфорд обнаружил, что при этом из недр атомов азота вылетают протоны. Но протоны находятся в ядрах атомов. Следовательно, при поглощении α -частицы происходит такое превращение ядра азота, что в результате образуется ядро нового атома и выбрасывается протон. Речь шла о новом типе реакций — ядерных реакциях.

Первую искусственную ядерную реакцию, которую осуществил Резерфорд, можно выразить следующим образом:



Азот превращается в кислород (рис. 8).

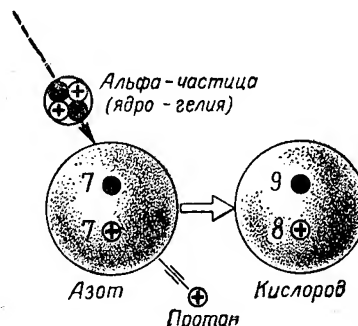


Рис. 8. Искусственное превращение азота в кислород.

Так был открыт путь к искусственному превращению элементов, который в конечном счете и привел к возможности использования энергии, скрытой в недрах атомного ядра.

ОТКРЫТИЕ НЕЙТРОНОВ. СОВРЕМЕННОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ О СТРОЕНИИ АТОМНОГО ЯДРА

После открытия Резерфорда началось интенсивное изучение разнообразных ядерных реакций.

В 1932 г. было сделано новое замечательное открытие.

Бомбардируя атомы бериллия α -частицами, ученики Резерфорда Боте и Беккер обнаружили появление излучения, обладающего необычными свойствами. Опыты показывали, что это излучение близко по своим свойствам γ -лучам, однако отличается от последнего. Загадку удалось разрешить молодому английскому физика Чадвику. Он доказал, что открытое излучение представляет собой поток незаряженных частиц, масса которых близка к массе протонов. Эти частицы были названы нейтронами. Открытие нейтронов сразу же привело к вопросу об источнике их происхождения. Где находятся эти частицы?

В год открытия нейтрона рядом ученых и была высказана гипотеза, которая принята в настоящее время: нейтроны входят в состав атомных ядер. Ядра состоят, таким образом, из протонов и нейтронов. На рисунке 9 изображено строение атомов трех первых элементов таблицы Менделеева по новой модели. Согласно же модели атома Резерфорда (см. рис. 5) атомные веса элементов должны быть равны лишь

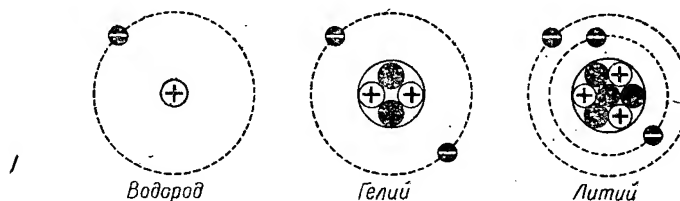


Рис. 9. Схема строения атомов по новой модели (с протонно-нейтронным строением ядра).

весу составляющих их протонов и электронов. Поскольку протон почти в 2 тыс. раз тяжелее электрона, то весом электронов в атоме можно пренебречь. Рассмотрим в таком случае соотношение между атомными весами и порядковыми номерами элементов согласно модели атома Резерфорда. Атомный вес гелия, занимающего второе место в периодической таблице, равен 4, что вдвое больше, чем вес двух протонов, входящих в состав ядра гелия (по Резерфорду).

Точно также обстоит дело, скажем, с ураном, занимающим 92-е место в таблице Менделеева. Согласно модели Резерфорда атомный вес урана должен равняться весу протонов в его ядре, т. е. 92. В действительности же атомный вес урана равен 238. Это значит, что наблюдается численное несоответствие между атомным весом и порядковым номером элементов (кроме водорода, в ядре атомов которого содержится один протон).

Новая модель с протонно-нейтронным строением ядер устранила несоответствие между атомными весами элементов и их порядковыми номерами в таблице Менделеева.

Чтобы усвоить суть дела, необходимо познакомиться с некоторыми определениями. Суммарное число ядерных частиц—протонов и нейтронов—принято называть массовым числом. Массовое число водорода равно 1, массовое число гелия равно 4 (два протона+два нейтрона), а массовое число, скажем, урана равно 238 (92 протона+146 нейтронов). Массовое число $A = Z + N$, где Z —число протонов, а N —число нейтронов в ядре атомов данного химического элемента. Числом Z определяется и число электронов, это порядковый номер элемента.

Массы ядер увеличиваются при почти постоянных размерах самих атомов¹. Этим объясняются, например, различные веса различных веществ при одинаковых их размерах; скажем, кусок свинца гораздо тяжелее куска алюминия такого же размера.

¹ Радиус любого ядра $R = R_0 \sqrt[3]{A}$, где $R_0 = 10^{-13}$ см, A — массовое число. Для урана $R = 9,3 \cdot 10^{-13}$ см (примерно). Вес атома самого легкого элемента водорода примерно равен $1,8 \cdot 10^{-24}$ г.

ИЗОТОПЫ

Появление протонно-нейтронной модели ядра возбуждало естественный интерес к изучению масс атомов.

Мы уже знаем, что каждый химический элемент имеет свой определенный тип атомов. Тщательные измерения обнаружили, что однотипные атомы могут иметь различные атомные веса. Элементы, состоящие из таких атомов, получили название изотопов¹. Изотопы—это элементы, занимающие одно и то же место в периодической таблице, а следовательно, обладающие одними и теми же химическими свойствами. Различие в весах атомов одного и того же химического элемента объясняется тем, что в ядрах атомов этих элементов может содержаться различное количество нейтронов при одинаковом числе протонов. Например, водород в природе встречается в виде двух изотопов—водорода и дейтерия. Эти изотопы занимают первое место в таблице химических элементов. Ядро атома водорода содержит лишь один протон, а ядро атома тяжелого водорода (дейтерия) содержит, кроме протона, один нейтрон (см. рис. 10), а ядро сверхтяжелого водорода (трития) содержит два нейтрона. Ядро атома легкого изотопа гелия содержит один нейтрон, а тяжелого—два нейт-

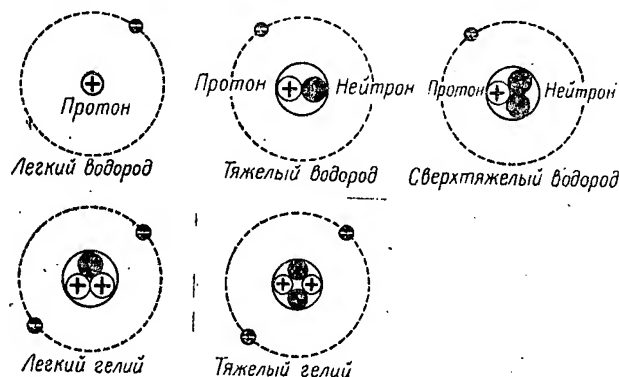


Рис. 10. Атомы изотопов—водорода и гелия.

¹ От греческих слов: изос—одинаковый, тоπος—место,

рона. В соответствии с этим атомный вес (или массовое число) водорода равно одному, дейтерия—двум, легкого гелия—трем, а тяжелого—четырем. Большая часть химических элементов имеет по несколько изотопов. Например, ртуть имеет семь изотопов, олово—десять, а уран—три изотопа. Изотопы урана, в соответствии с их массовыми числами, принято писать: уран 238, уран 235 и уран 234. Наиболее тяжелый уран 238 составляет основную массу природного урана, уран 235 стосороковую часть, а уран 234 одну двадцатитысячную часть его. Из этого видно, что природный уран практически можно считать состоящим из урана 238 и урана 235.

Изотопы водорода встречаются в основном в молекулах воды, образующих обычную и тяжелую воду. Поэтому в водоемах земного шара можно встретить и тяжелую воду в смеси с обычной водой. Количество тяжелой воды очень мало и составляет лишь 0,02%. Кроме естественных (природных) изотопов элементов, могут быть еще изотопы, полученные искусственным путем, о чем будет сказано в разделе искусственной радиоактивности. Искусственным путем, в частности, был получен сверхтяжелый изотоп водорода тритий, в ядре атома которого имеется два нейтрона (кроме одного протона). Тритий вместе с дейтерием образуют взрывчатую смесь, применяемую для создания термоядерного оружия. Искусственным путем может быть получен так же еще один (четвертый) изотоп урана—уран 233. Как искусственно полученный изотоп уран 233, так и природный уран 235 применяются как ядерное горючее в мирных и военных целях, о чем подробнее будет сказано позже.

ИСКУССТВЕННАЯ РАДИОАКТИВНОСТЬ

Мы уже знаем, что естественной радиоактивностью обладают атомы тяжелых элементов—урана, радия и других, которые распадаются без всяких внешних воздействий, под влиянием внутренних причин, испуская α -, β - и γ -лучи. Возник вопрос, нельзя ли вызвать искусственно радиоактивность элементов, не обладающих естественной радиоактив-

ностью, нельзя ли осуществить ускоренный процесс радиоактивного превращения элементов, при котором мы могли бы получить за единицу времени достаточное количество ядерной энергии для практических целей и, наконец, нельзя ли этим путем глубже исследовать свойства ядерных сил? Останемся коротко на этих вопросах.

На рисунке 3 мы видели, что в семействе уран-радия превращение, например, урана в торий, радия в радон совершается испусканием α -частиц. Это значит, что происходит ядерная реакция, при которой число протонов и нейтронов в исходных ядрах изменяется, что наглядно показано для радия на рисунке 11. Для того чтобы искусственно осуществить ядерную реакцию элементов, не обладающих естественной радиоактивностью, необходимо изменить число ядерных частиц путем внешних воздействий.

Например, искусственная радиоактивность элементов может быть вызвана путем бомбардировки ядер элементов протонами, α -частицами и нейтронами. Первоначально для этой цели были использованы α -частицы, испускаемые естественно — радиоактивными тяжелыми элементами. Таким путем, как уже говорилось, Резерфорд впервые осуществил ядерную реакцию — превращение азота в кислород.

Вторжение α -частицы в ядро атома азота приводит к добавлению двух протонов и двух нейтронов. При этом нарушается нормальный энергетический режим ядра, как говорят — ядро „накаляется“. В таком состоянии ядро пребывает недолго; оно выбрасывает один протон, и таким образом образуется ядро атома кислорода.

В 1934 г. французские ученые Фредерик Жолио-Кюри и его супруга Ирен Кюри, облучая алюминий α -частицами, осуществили реакцию, при которой алюминий превращался в радиоактивный фосфор. Эта реакция и привела к открытию искусственной ра-

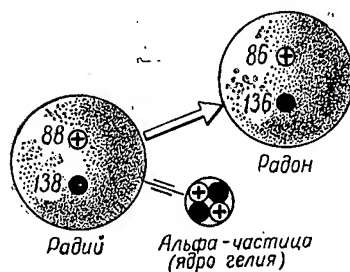
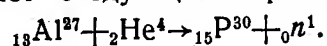


Рис. 11. Схема превращения радия в радон.

диоактивности элементов. Указанная реакция протекает следующим образом.



В этой реакции (см. рис. 12) проникновение α -частицы в ядро алюминия приводит к тому, что вместо 13 протонов, имевшихся в ядре алюминия, становится 15 протонов. Так как число протонов в ядре определяет место в периодической таблице элементов, то мы получим элемент с порядковым номером 15; т. е. изотоп фосфора. Поскольку α -частица, кроме двух протонов, имеет еще два нейтрона, то число нейтронов в ядре алюминия станет 16, т. е. увеличится на 2. Если при этом учесть, что в процессе реакции произошло излучение одного нейтрона, то мы получим элемент, в ядрах атомов которого 15 протонов и 15 нейтронов (элемент с порядковым номером 15 и с массовым числом 30), т. е. изотоп фосфора (массовое число обычного природного фосфора равно 31). Ато-



Жолио-Кюри.

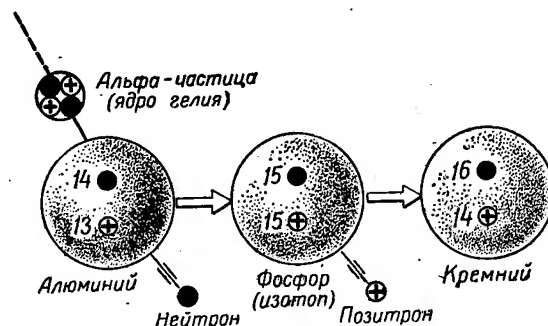
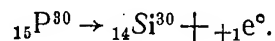


Рис. 12. Искусственное превращение алюминия в радиоактивный изотоп фосфора с последующим его превращением в кремний.

мы изотопа фосфора оказываются неустойчивыми. Они превращаются в атомы изотопа кремния согласно реакции:



Позитрон — частица, масса которой равна массе электрона, а заряд равен по величине и обратен по знаку заряду электрона.

Таким образом, в результате бомбардировки обыкновенного алюминия α -частицами появляется фосфор, который обладает радиоактивными свойствами: он испытывает самопроизвольное превращение, излучая при этом позитроны. Период полураспада радиоактивного фосфора оказался равным 2,5 мин.

Открытие супругов Жолио-Кюри показало возможность получения разнообразных искусственных радиоактивных элементов с различными периодами полураспада.

В настоящее время это открытие получило широчайшие практические применения, о них будет речь ниже.

ЧАСТИЦЫ-СНАРЯДЫ И ИХ ИСТОЧНИКИ

Многочисленные исследования ядерных реакций привели физиков к выводу, что для успешного осуществления желаемых превращений веществ необходимы мощные источники частиц-снарядов, необходимы средства для ускорения частиц, сообщения им энергии. Дело в том, что осуществление искусственного превращения ядер возможно лишь путем попадания в них частицами-снарядами. Чтобы понять трудность такого попадания, представьте себе относительные размеры атома и ядра.

Относительно размеров атома ясное представление дает следующий пример: на длине одного сантиметра можно поместить в ряд 100 млн. атомов водорода. Следовательно, диаметр атома водорода равен одной стомиллионной доле сантиметра (10^{-8} см). Ядро же атома водорода (протон) имеет диаметр в 100 тыс. раз меньший, чем диаметр самого атома, т. е. равен 10^{-13} см. Если бы существовал микроскоп, который был способен увеличить ядро атома водорода до одного миллиметра, то при этом диаметр самого атома

оказался бы равным 100 м. Это значит, что электроны вращаются вокруг ядра на относительно больших расстояниях.

Чтобы правильно нарисовать изображение атома водорода на бумаге, мы должны были бы начертить круг с радиусом 50 м; ядро изображалось бы тогда точкой, нанесенной чертежным карандашом в центре такого круга.

Итак, ядра атомов чрезвычайно малы по сравнению с самими атомами. В таких малых объемах сосредоточены протоны, которые, как было сказано, в 1840 раз тяжелее электронов. Именно поэтому ядро атома является носителем почти всего веса атома.

Сравнивая размеры атомов и их ядер между собой, мы можем сказать, что ядра атомов любого вещества расположены на достаточно удаленных расстояниях друг от друга. Если бы нам удалось, например, собрать атомные ядра воды, наполняющей бассейн площадью 1 км² и с глубиной 120 м, то эта ядерная материя могла бы поместиться примерно в 1 см³ и имела бы вес около 120 млн. т, в то время как все электроны, входящие в состав воды, будут весить около 3—4 тыс. т.

Отсюда должно быть ясно, что при обстреле ядер, которые мы хотим превратить в другие ядра, попадание частицы-снаряда в ядро будет редким событием. Сделать столкновения частиц с ядрами частыми можно лишь одним путем — путем создания источника, который выбрасывал бы огромное число частиц для бомбардировки ядер. Но есть и другая трудность осуществления ядерных превращений. Она заключается в следующем.

Ядро заряжено положительно, причем величина заряда ядра увеличивается по мере увеличения веса атомов. Если у протона заряд ядра равен 1, то у урана он составляет 92 единицы. При обстреле ядер положительно заряженными частицами, а они чаще всего и применяются в качестве снарядов¹, сила электрического отталкивания будет тем больше, чем тяжелее то ядро, которое мы хотим превратить.

¹ Отрицательно заряженные частицы не применяются в качестве ядерных снарядов ввиду малости массы.

Для преодоления электрических сил отталкивания ядра—мишени и частицы-снаряда существует только один путь — сообщение частицам-снарядам достаточной кинетической энергии.

Итак, для успешного осуществления ядерных превращений необходима установка, которая давала бы достаточное количество частиц-снарядов, скорости которых можно было бы увеличивать до нужной величины. С этой целью ученые создали ускорители частиц, часто называемые ядерными пушками. В этих ускорителях может быть разогнано большое количество заряженных частиц для обстрела ядер атомов любых веществ. Количество же ускоренных частиц („ядерных снарядов“), получаемых в современных ускорителях, может быть сделано гораздо большим, чем у природных радиоактивных элементов.

Существуют различные типы ускорителей. Сначала частицы ускоряли в постоянном электрическом поле с большой разностью потенциалов. В этих ускорителях энергия ускоряемых частиц определяется разностью потенциалов между электродами. Такие ускорители не получили широкого распространения, так как оказались слишком громоздкими для получения частиц больших энергий (при создании разности потенциалов до нескольких миллионов вольт частицы ускорялись лишь до энергии несколько миллионов электрон-вольт)¹. Широкое распространение получил способ многократного ускорения частиц—метод циклотрона, впервые созданного в 1932 г. Э. Лоуренсом.

Процесс ускорения частиц в циклотроне основан на своеобразном и одновременном действии электрического и магнитного полей на заряженную частицу. Электрическое поле ускоряет частицу, увлекая ее вдоль своего направления, а магнитное закручивает ее в направлении, перпендикулярном направлению магнитного поля. Ускорение частиц в циклотроне осуществляется при помощи указанных свойств электрического и магнитного полей, направление которых

¹ Электрон-вольт—это энергия, приобретаемая электроном в ускоряющем его электрическом поле с разностью потенциалов 1 вольт.

перпендикулярно друг другу; при этом направление магнитного поля (его силовых линий) постоянно, а электрическое периодически меняет свое направление с определенной частотой.

Для наглядного представления движения заряженной частицы в циклотроне допустим, что постоянное магнитное поле направлено от читателя перпендикулярно плоскости этого листа, а электрическое поле

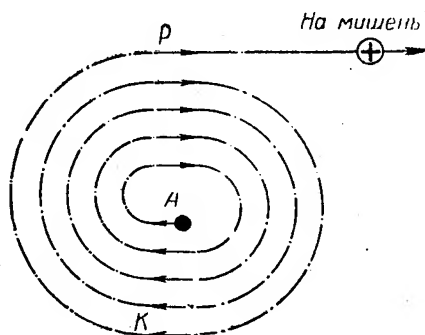


Рис. 13. Движение заряженной частицы в магнитном поле, направление которого перпендикулярно плоскости чертежа.

(направление которого меняется то вправо, то влево) расположено по плоскости листа. Тогда заряженные частицы (скажем, пучок протонов), попавшие от источника А в эти поля, начнут двигаться по спирали, лежащей на плоскости листа, как это показано на рисунке 13. В верхней области Р частица движется в правую сторону читателя, а в нижней области К—в левую. К моменту прихода частицы из верхней области к нижней направление электрического поля меняется, что приводит к еще большему увеличению ее скорости. После достаточного количества таких циклов частица получает большую скорость и направляется на мишень (на ядра атомов веществ). На рисунке 14, а показан общий вид электродов (дуанты), имеющих форму полукруга, на которые подается переменное электрическое напряжение. Между электро-

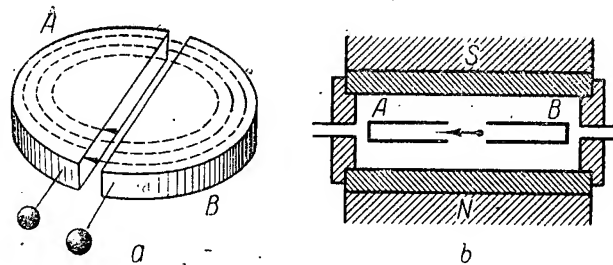


Рис. 14. Схема циклотрона:
 а—дуанты; б—дуанты между полюсами магнита.

дами создается электрическое поле, направление которого меняется в такт с каждым полуоборотом вращения частиц в магнитном поле, приложенном перпендикулярно плоскости дуантов (рис. 14, б). Дуанты, расположенные в высоковакуумной камере, находятся между полюсами электромагнита. Наличие высокого вакуума необходимо, так как незаряженные частицы воздуха в камере сильно мешают работе циклотрона. В основе устройства такого циклотрона лежит принцип постоянства периода обращения частиц в дуантах. При очень больших скоростях частиц масса их, согласно теории относительности, увеличивается. Это приводит к возрастанию периода обращения частиц при растущем радиусе обращения. В этом случае ускорение частиц при помощи циклотрона оказалось невозможным, так как частицы придут в зазор не в такт с изменением частоты ускоряющего их электрического поля, а с некоторым отставанием по фазе. Выход из этого положения был найден в 1944 г., когда советский физик Векслер и американский физик Мак-Миллан (независимо друг от друга) предложили метод „автофазировки“ ускоряемых частиц. В основе этого метода лежит медленное и достаточно плавное изменение частоты переменного электрического поля (или величины магнитного поля) по мере ускорения частиц. Поле немного должно опережать частицы, так чтобы сохранить „устойчивость частиц по частотам“. Это значит, что если какая-нибудь частица отстанет от группы, то она попадет в зазор, когда ускоряющее поле успеет нарасти; в этом слу-

чае она, ускоряясь, догонит группу. Если же какая-нибудь частица бежит вперед, то она попадет в зазор раньше, чем поле успеет достигнуть максимума; в этом случае она получит меньшее ускорение, в силу чего другие частицы ее догонят.

Нетрудно заметить, что на основе этой идеи можно построить ускоритель двух типов. В первых типах изменяется частота электрического поля при постоянной величине магнитного поля, а в других типах меняется величина магнитного поля при неизменной частоте электрического поля. Первый тип ускорителей получил название фазотронов, а второй — синхротронов.

Можно менять одновременно и частоту электрического и величину магнитного полей так, чтобы радиус орбиты сохранился постоянным. Такие ускорители получили название синхрофазотронов. Магнит синхрофазотрона не сплошной, а имеет форму кольца, так как магнитное поле в центре машины не нужно. Фотографию синхрофазотрона, сооруженного в СССР по идее Векслера приводим на рисунке 15. Этот синхрофазотрон рассчитан на ускорение протонов до энергии 10 млрд. электрон-вольт.

Для ускорения электронов существуют так называемые бетатроны. Принцип работы бетатрона заключается в том, что в них быстрое изменение магнитного поля создает ускоряющее электрическое поле. Бетатрон представляет собой магнит, вокруг которого расположена полая кольцевая трубка. Для ускорения более тяжелых частиц (скажем — протонов) бетатрон негоден, так как для этого требовалось бы слишком сильное магнитное поле.

В последние годы построено большое количество ускорителей как в СССР, так и за рубежом, при помощи которых осуществлено большое число ядерных расщеплений при высоких энергиях и получено много радиоактивных изотопов (о новейших типах ускорителей, сооруженных и планируемых в СССР, а также и некоторых перспективах создания мощных малогабаритных ускорителей, мы будем говорить в последней главе, посвященной космическим лучам).

Ускорители призваны сыграть огромную роль в развитии атомной физики.

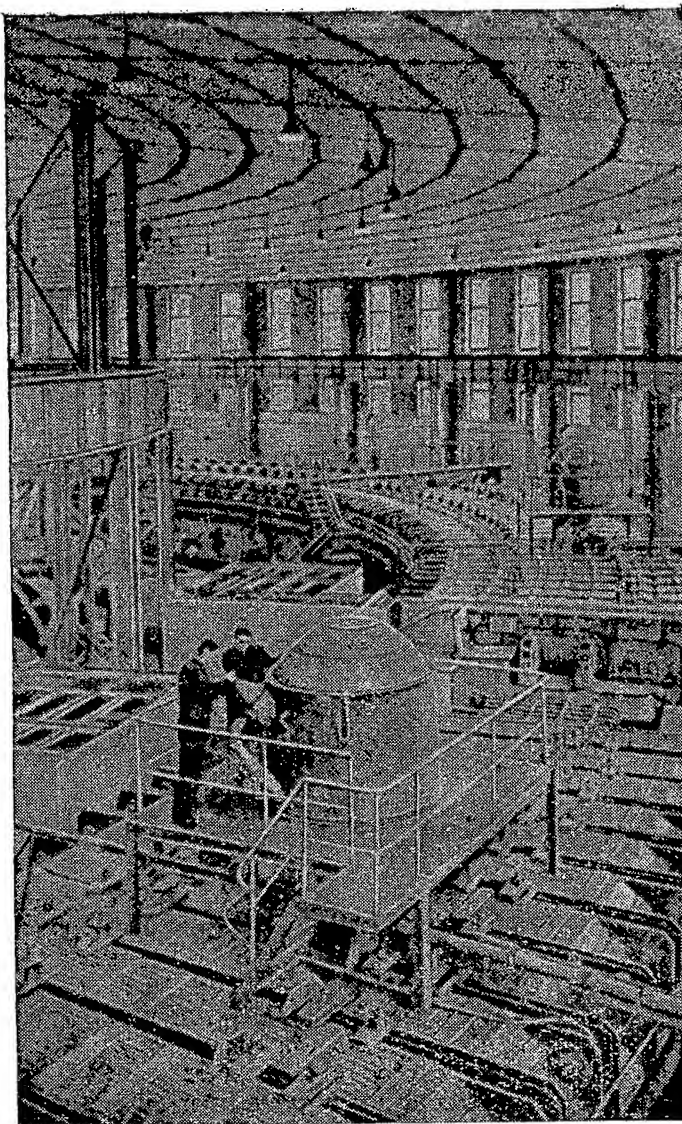
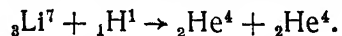


Рис. 15. Вид кольцевого электромагнита синхрофазотрона на 10 миллиардов электрон-вольт (энергия ускоряемых протонов). На переднем плане видны пачки железных листов, из которых состоит магнитная система.

В ускорителях была впервые открыта важная ядерная реакция. При столкновении с ускоренными протонами, полученными в циклотроне, ядра лития расщеплялись на две α -частицы согласно реакции:



Вторжение в ядро лития с зарядом 3 и с массовым числом 7 ускоренного протона дает сначала ядро бериллия (с зарядом 4 и массовым числом 8); последнее сразу же распадается на две α -частицы, т. е. получается деление ядра лития на два ядра гелия. Это первая реакция, показавшая ученым путь к принципиальной возможности получения ядерной энергии путем деления ядер атомов.

В примере с литием мы имеем дело с ядерной реакцией, при которой происходит деление целого ядра в отличие от излучения отдельных частиц ядром при его радиоактивном превращении. При подобной реакции выделяется еще больше энергии, чем при радиоактивном распаде. Например, 1 г лития при полном делении ядер его атомов дает теплоту, для получения которой требовалось бы сжечь 7,3 т высококачественного угля.

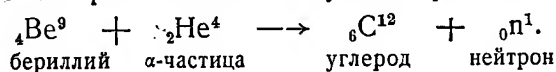
Возникает вопрос: нельзя ли использовать на практике этот метод получения энергии? Вся беда в том, что для создания ускоренных протонов (в нужных масштабах) требуются колоссальные затраты, так как циклотрон — это сложное сооружение, у которого одна лишь деталь, магнит, весит от нескольких сот до нескольких тысяч тонн. Кроме того, ввиду малости размеров обстреливаемых ядер-мишеней число попаданий протонов в ядро лития (определяющее число ядерных делений) слишком мало.

Но при помощи ускоренных частиц, получаемых в циклотроне, в настоящее время в ядерных лабораториях могут быть получены радиоактивные изотопы почти всех химических элементов и превращены одни элементы в другие. В частности, путем искусственной радиоактивности были получены неизвестные ранее химические элементы технеций, прометий, астаин, занимающие сейчас в периодической таблице химических элементов № 43, 61, 85. Искусственным путем получены и зауранные тяжелые элементы

нептуний, плутоний, америций, кюрий, берклий, калифорний, эйнштейний, фермий, менделеевий и нобелий (недавно открытый сто второй элемент)¹. В настоящее время науке известны более 700 искусственных изотопов элементов.

Однако самым важным результатом изучения превращений атомных ядер явилось открытие возможностей высвобождения энергии, скрытой в недрах атома. Это открытие оказалось связанным с нейтронами.

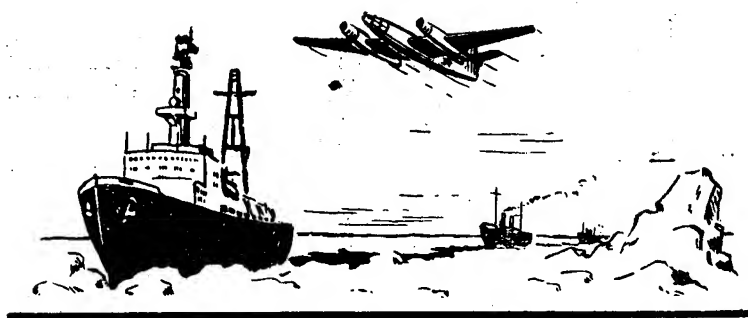
Нейтроны как частицы, лишенные электрического заряда, не могут быть ускорены в циклотроне. Да в этом они и не нуждаются, ввиду их исключительной способности взаимодействовать с ядрами элементов, так как они не испытывают электромагнитного взаимодействия с ядрами-мишенями. Источником нейтронов может служить, например, смесь бериллия с веществом, излучающим α -частицы, например радием. В этой смеси развивается следующая реакция:



Приводимая здесь ядерная реакция, при которой бериллий превращается в углерод под действием α -частиц, является исторической: при ее помощи в 1932 г. впервые были получены нейтроны.

Так как радий является элементом редким, то такой источник нейтронов был бы слишком дорогим для практических нужд. Как будет видно из дальнейшего, производство различных изотопов для нужд науки и техники, а также и для получения атомного взрывчатого вещества (плутоний, уран 233 и тритий), осуществляется в таком мощном источнике нейтронов, каким является ядерный реактор.

¹ Роль частиц-снарядов в случае искусственных превращений тяжелых зауронов элементов играют нейтроны и ускоренные ионы легких элементов.



• ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГИЯ •

О том, что внутри атома скрыты большие запасы энергии, стало известно уже после изучения естественной радиоактивности. Напомним, что радиоактивные вещества непрерывно посылают в окружающее пространство энергию вместе с α -, β - и γ -лучами и они нагревают окружающую среду (рис. 16). Однако это выделение энергии идет чрезвычайно медленно, и о практическом использовании ее не может быть и речи.

При каждом акте искусственного ядерного превращения, вызываемого частицами-снарядами, могут также выделяться относительно большие энергии, однако эти акты происходят чрезвычайно редко из-за малых размеров атомных ядер. Возможность практического использования внутриядерной энергии была установлена после открытия одного из замечательнейших физических явлений—деления атомных ядер. История этого открытия такова. В 1934 г. итальянский физик Энрико Ферми (1905—1956) произвел опыт, целью которого было исследовать результаты воздействия нейтронов на ядра урана. Ферми надеялся получить таким искусственным путем элементы более тяжелые, нежели уран, и выяснить, почему встречающиеся на земле вещества состоят лишь из 92 ти-

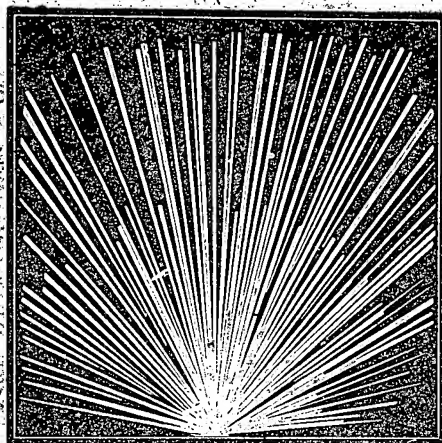


Рис. 16. Пути движения частиц, испускаемых радиоактивным источником.

пов атомов, почему уран является последним элементом в периодической системе Менделеева.

Опыт показал, что после облучения урана нейтронами появляется радиоактивное излучение очень сложного состава; опыт говорил о том, что под действием нейтронов с атомами урана происходят какие-то изменения.

Но какие? Поисками ответа на этот вопрос

заялись немецкие и французские физики. Пять лет длились сложные, кропотливые исследования. В результате выяснилось, что при попадании в ядро урана нейтрон производит совершенно необычное превращение: ядро урана раскалывается на две половины. Процесс этот изображен на рисунке 17. Так была открыта реакция деления ядер урана под действием нейтронов. Детальное изображение хода этой важнейшей ядерной реакции дано на рисунке 18, где показано радиоактивное превращение продуктов деления урана.

Замечательной особенностью реакции деления ядер урана явилось выделение значительных количеств энергии. Это вселило надежду на открытие способов использования ядерной энергии для практических целей.

ДЕЛЕНИЕ ЯДЕР УРАНА ПОД ДЕЙСТВИЕМ НЕЙТРОНОВ

Исследования деления ядер урана под действием нейтронов показали, что при делении ядра урана выделяется не только относительно большое количество энергии, но и происходит испускание от одного до трех быстрых нейтронов, содержащихся в ядре

урана (см. рис. 17). Эти нейтроны в свою очередь способны вызвать расщепление ядер атомов урана, приводящее к всевозрастающей цепной реакции. Как известно, природный уран в основном состоит из изотопов урана 238 и 235. В природном уране уран 238 составляет 99,3%, а уран 235—0,7%. Из этих естественных изотопов урана наилучшей способностью деления (под влиянием нейтронов) обладает уран 235; как видно, его в природном уране в 140 раз меньше, чем урана 238.

Остановимся на вопросе о том, как происходит деление ядер урана под действием нейтронов. В окружающем нас воздухе всегда имеются нейтроны. Нейтроны эти создаются путем разбиения атомных ядер воздуха космическими лучами, идущими из мирового пространства на нашу планету. Кроме того, как показали в 1939 г. советские ученые Г. Н. Флеров и К. А. Петржак, ядра урана самопроизвольно без

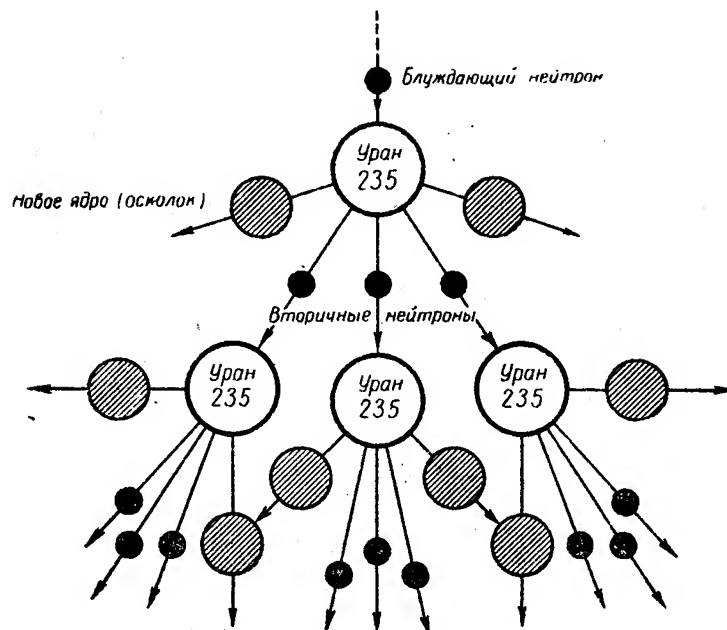


Рис. 17. Деление ядер урана 235 под действием нейтронов.

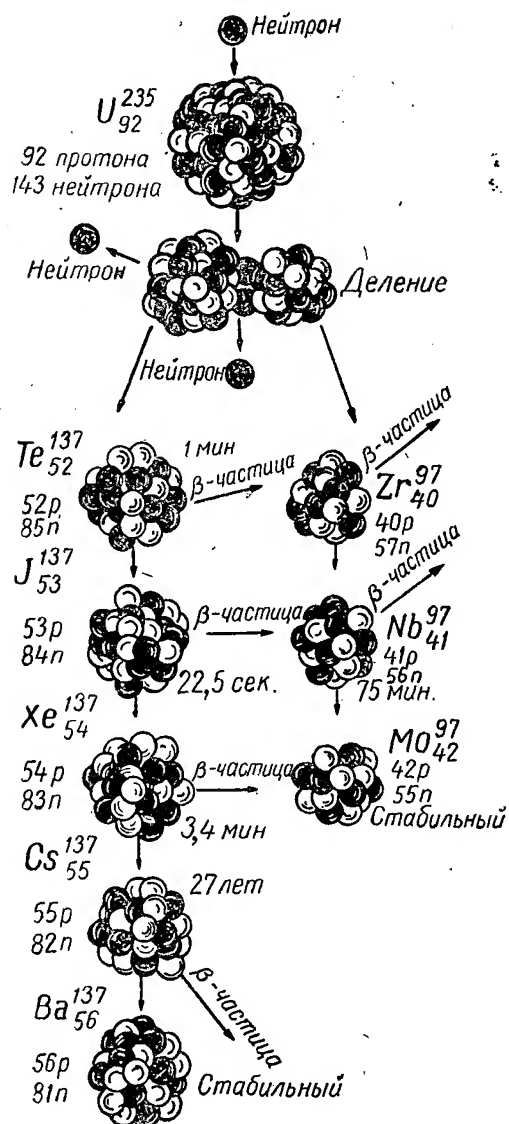


Рис. 18. Радиоактивное превращение продуктов деления урана $^{235}_{92}\text{U}$ (p—протон, n—нейтрон).

всякого внешнего воздействия делятся на осколки, и при каждом делении испускаются два-три нейтрона. В 1 кг урана ежесекундно происходит примерно пять самопроизвольных делений, в результате чего ежесекундно в нем появляются 10—15 свободных нейтронов, которые способны производить дальнейшее деление ядер урана. Из этого ясно, что если мы имеем в своем распоряжении кусок урана, то имеется большая вероятность, что нейтрон попадет в этот кусок либо из воздуха, либо из делящихся самопроизвольно ядер урана. Таким образом, сама природа способствует созданию нейтронных снарядов. Спрашивается: какова же дальнейшая судьба нейтронов, попавших в кусок урана? Они могут столкнуться либо с ядром урана 238, либо с ядром урана 235. Если нейтроны сталкиваются с ядрами урана 238, то, как показывают опыты, эти ядра не делятся, а поглощают нейтроны, превращаясь в ядра плутония. Схема превращения урана 238 в плутоний приведена на рисунке 19.

Допустим далее, что нейтрон взаимодействовал с ядром урана 235. В этом случае, как показывают опыты, происходит деление ядер урана 235 на два осколка согласно схеме, приведенной на рисунке 17. Осколки эти обычно не равны между собой и являются радиоактивными (возбужденными) ядрами атомов элементов, находящихся в средней части таблицы Менделеева; например

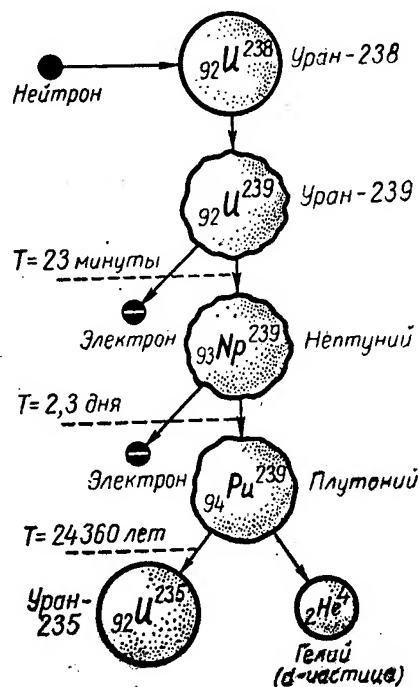


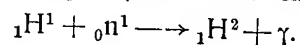
Рис. 19. Превращение урана 238 в плутоний под действием нейтронов.

теллур и цирконий, ядра атомов которых неустойчивы и превращаются, в конечном счете (излучая β -частицы), в устойчивые ядра атомов элементов бария и молибдена (рис. 18).

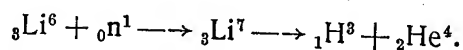
Как известно, число нейтронов в ядрах атомов по отношению к числу протонов растет с ростом атомного номера элементов; поэтому у тяжелых элементов число нейтронов в ядрах (по отношению к числу протонов) значительно больше, чем у ядер атомов средних элементов. Ввиду этого при делении урана ^{235}U образовавшихся ядер урана избыточные нейтроны освобождаются. В процессе деления освобождаются два-три нейтрона. Как мы увидим дальше, эта особенность распада урана сыграла важную роль в решении вопроса об использовании внутри-ядерной энергии.

Остановимся коротко на роли нейтронов в ядерных реакциях и приведем некоторые примеры.

Нейтроны легко могут быть захвачены ядрами. Это приводит к увеличению числа частиц в ядре и к росту энергии самого ядра, которое ввиду этого становится энергетически неустойчивым. Такое неустойчивое ядро может излучать частицы, при этом происходит ядерная реакция того или иного типа (в зависимости от излучаемых частиц). Если же ядро, поглотив нейтрон, излучает только γ -частицу, то ядерная реакция не имеет места, и мы получим лишь изотоп облученного нейтронами вещества. Например, ядро легкого водорода, поглотив нейтрон, может превратиться в дейтерий (в тяжелый изотоп водорода):

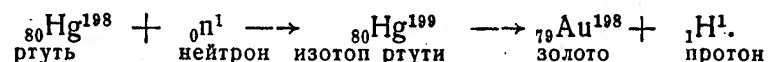


Облучение ядра атомов лития нейтронами приводит к ядерной реакции, при которой литий превращается в тритий (сверхтяжелый водород), излучая α -частицу:



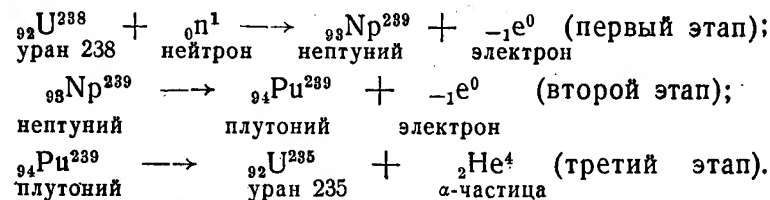
В этой реакции ядро лития поглощает нейтрон и превращается в ядро изотопа лития 7, который тут же в свою очередь превращается в ядро сверхтяжелого изотопа водорода-трития, выбросив α -частицу. Получаемый таким путем тритий является, как

увидим дальше, зарядом для водородной бомбы. Путем бомбардировки нейтронами можно получить из ртути золото:



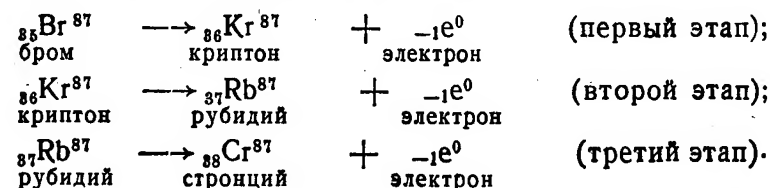
Ядро ртути, поглотив нейтрон, испускает протон, и превращается в ядро золота.

Ввиду способности проникнуть в любые ядра (независимо от заряда ядра) нейтроны сыграли большую роль в ядерной физике. При помощи нейтронов был получен зауранный 93-й элемент нептуний, который со временем превращается в 94-й элемент плутоний. Реакция эта происходит следующим образом:



Ядро урана 238, поглотив нейтрон, превращается в ядро урана 239; уран 239 неустойчив и превращается в нептуний, излучая электрон. Последний также неустойчив (радиоактивен): излучая электрон, он превращается в плутоний.

В ядрах-осколках после процессов деления остаются избыточные нейтроны; в результате эти ядра делаются радиоактивными: они распадаются, превращаясь в устойчивые ядра атомов средних элементов. Если, например, при делении урана 235 в качестве одного из осколков получится, скажем, бром, то его возбужденное ядро со временем превращается в стронций по следующей реакции:



Все эти этапы сопровождаются интенсивным радиоактивным излучением.

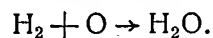
Подчеркнем еще раз, что самое характерное и важное в процессе деления ядер заключается в выделении огромных количеств энергии. Как показывает опыт, каждый акт деления ядра урана 235 дает энергию около 200 млн. электрон-вольт. Эта энергия складывается из следующих частей: 1) кинетической энергии осколков разделившегося ядра, которые разлетаются с огромными скоростями (около 15 тыс. км/сек), 2) из энергии γ -лучей, которые возникают в процессе радиоактивных превращений продуктов деления, 3) из энергии нейтронов, возникающих при делении.

Легко подсчитать количество энергии, которое получилось бы при делении всех атомов, составляющих, скажем, один грамм-атом урана 238. Число атомов в грамм-атоме измерено с большой точностью: оно равно $6 \cdot 10^{23}$. Если деление одного атома дает $2 \cdot 10^8$ электрон-вольт энергии, то деление $6 \cdot 10^{23}$ атомов дает энергию, равную $12 \cdot 10^{31}$ электрон-вольт. Переведем эту величину в более ощутимые единицы. Поскольку $1 \text{ ev} \approx 10^{-12} \text{ эрг}$, то энергия $12 \cdot 10^{31} \text{ ev} = 12 \cdot 10^{19} \text{ эрг} = 12 \cdot 10^{12} \text{ дж} \approx 3 \cdot 10^9 \text{ ккал}$.

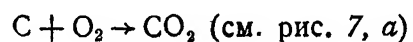
Значение этой цифры легко понять, если вспомнить, что при сжигании 1 кг каменного угля мы получаем всего $1,1 \cdot 10^4$ ккал тепла. Выходит, что ядерные реакции дают в миллионы раз больший выход энергии, нежели обычное сгорание топлива.

ЦЕПНАЯ ЯДЕРНАЯ РЕАКЦИЯ

До открытия радиоактивности были известны лишь химические превращения веществ. Например, атомы водорода, соединяясь с атомами кислорода, образуют молекулы воды (рис. 20):



Горение угля—процесс соединения атома углерода с двумя атомами кислорода, при котором образуется молекула углекислого газа:



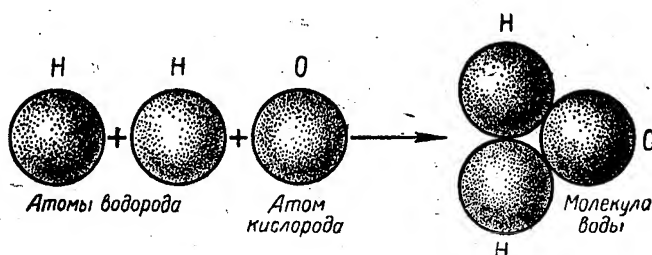


Рис. 20. Схема образования молекул воды из атомов водорода и кислорода.

Эти реакции обладают той особенностью, что при благоприятных условиях сами себя поддерживают и развиваются до тех пор, пока не произойдет соединение всех атомов. Каждый акт соединения атомов С и О или Н и О приводит к выделению определенного количества энергии. Развивается, таким образом, цепная химическая реакция, и она протекает до тех пор, пока не сгорит все наличное топливо. Этот процесс химической цепной реакции соединения атомов кислорода с атомами углерода является для атомов поверхностным процессом; при нем происходит лишь перегруппировка электронов внешних оболочек атомов и образование молекул углекислого газа. Ядра же атомов, в которых сосредоточен колоссальный запас энергии, при этом остаются совершенно незатронутыми. Возникает вопрос, как осуществить цепную ядерную реакцию, при которой деление атомов происходило бы непрерывно, пока не разделились бы все атомы, находящиеся в куске урана. Ядра урана, как нам известно, делятся под действием нейтронов. Следовательно, нейтроны могут сыграть такую же роль в цепной ядерной реакции, какую зажженная спичка играет в химической реакции горения.

Хорошо известно, что в местах скопления урановых руд, куда проникают нейтроны, скажем, из окружающего воздуха, не возникает цепных реакций, при которых выделялась бы ядерная энергия. Между тем первый же нейтрон, попавший в уран из воздуха или возникшего в нем путем самопроизвольного деления ядер урана 235, должен был бы

вызвать цепное деление ядер урана. Действительно, при делении, как уже говорилось, освобождаются два-три нейтрона; встретив на своем пути ядро урана, каждый из нейтронов может в свою очередь вызвать деление, что приведет к возникновению девяти нейтронов; последние в свою очередь должны были вызвать деление девяти ядер урана 235 и возникновение 27 нейтронов и т. д. (см. рис. 17). Такая всевозрастающая цепная реакция, казалось бы, должна была развиваться на местах скопления урана, чего на самом деле не наблюдается. В чем же тут дело?

Дело в том, что естественный уран состоит в основном из двух изотопов (уран 235 и уран 238), на ядра которых нейтроны реагируют различно. Ядра урана 235 делятся под действием нейтронов, при каждом акте деления возникают два-три нейтрона, которые движутся со скоростью 10—15 тыс. км/сек. Ядра же урана 238 не только не делятся этими нейтронами, но, наоборот, охотно захватывают их, превращаясь в ядра урана 239.

Таким образом, мы видим, что в естественном уране, состоящем из изотопов урана 235 и урана 238, происходит, с одной стороны, деление ядер урана 235 и возникновение быстрых нейтронов (что должно способствовать развитию цепной реакции), а с другой—поглощение этих нейтронов ядрами урана 238 (что не дает возможности развитию цепной реакции).

Однако физики нашли выход из этого, на первый взгляд, безвыходного положения. Оказалось, что нейтроны по-разному взаимодействуют с ядрами урана в зависимости от скорости своего движения. Медленные нейтроны охотно захватываются ядрами урана 235 и очень редко ядрами урана 238. Быстрые же нейтроны, наоборот, захватываются преимущественно лишь ядрами урана 238. Следовательно, если замедлить каким-либо путем быстрые нейтроны, испускаемые при делении ядер урана 235, то можно осуществить ядерную цепную реакцию (рис.17). Прежде чем выяснить, как это осуществлялось практически, познакомимся с понятием дефекта массы, энергии связи и несколько поговорим о таких необычных силах, какими являются ядерные силы.

ДЕФЕКТ МАССЫ И ЭНЕРГИЯ СВЯЗИ

Возникает вопрос: как же объяснить наличие колоссального запаса энергии в ядрах атомов? Путь к такому объяснению указала одна характерная особенность ядер атомов, вскрытая в результате точных измерений масс атомов.

Опыты показали, что масса свободного (не входящего в состав ядер) протона составляет 1,0076 атомной единицы, а масса свободного нейтрона — 1,0089 атомной единицы. Зная эти величины масс, мы можем, казалось бы, определить массу любого атомного ядра, поскольку по его положению в таблице Менделеева легко узнать количество протонов и нейтронов, из которых оно построено. Например, ядро гелия, содержащее два протона и два нейтрона, должно было бы обладать массой $2 \times 1,0076 + 2 \times 1,0089 = 4,0330$ ат. ед.¹. В действительности же точные измерения дали для массы ядра гелия 4,003 ат. ед., т. е. на 0,03 ат. ед. меньше, чем суммарный вес отдельно взятых (вне ядер) свободных протонов и нейтронов. Значит, мы имеем дело с потерей массы атомных ядер при их образовании из протонов и нейтронов. Эта потеря массы называется дефектом массы.

Каждый атом имеет свойственный ему дефект массы. Например, у ядра бериллия он равен 0,04, у урана — 0,07 атомных единиц массы (сокращенно а. е.). Спрашивается: куда же девается часть массы, теряемая ядрами при их образовании?

Из теории относительности, разработанной Эйнштейном, вытекает закон взаимосвязи массы и энергии. Этот закон гласит, что всякому изменению мас-

¹ Вес атома в граммах ничтожен. Поэтому атомные веса элементов неудобно выражать в граммах, ввиду чего условились пользоваться относительным атомным весом. Беря атомный вес самого легкого элемента водорода за единицу, с ним сравнивают веса атомов других элементов. Например, атом кислорода в 16 раз тяжелее атома водорода; следовательно, атомный вес кислорода равен 16, атомный вес алюминия 27, а атомный вес, скажем, урана равен 238. Более удобным оказалось за единицу атомного веса принимать $\frac{1}{16}$ часть массы атома кислорода; она равна $1,66 \cdot 10^{-24}$ г.

сы Δm соответствует изменение энергии ΔE , которое выражается формулой:

$$\Delta E = \Delta m c^2, \text{ где } c — \text{скорость света.}$$

Выражая Δm в граммах, а скорость света в сантиметрах в секунду ($3 \cdot 10^{10}$ см/сек), мы получим значение ΔE в эргах¹. Чтобы это понять, необходимо вспомнить химические реакции, в результате которых из отдельных атомов строятся молекулы. Например, из двух атомов водорода и одного атома кислорода образуется молекула воды. При этом обязательно выделяется теплота, называемая теплотой реакции или энергией связи молекулы (образующаяся молекула получается тем прочнее, чем больше теплота реакции). При образовании одной грамм-молекулы воды выделяется количество энергии, равное 68 тыс. кал. Аналогичное явление происходит при ядерных реакциях. Как же велика энергия, выделяемая при образовании ядра гелия из отдельных протонов и нейтронов?

Согласно закону взаимосвязи массы и энергии дефект массы ядра обусловлен выделением энергии при образовании ядер из протонов и нейтронов. Если подсчитать энергию, выделяемую при образовании ядер 1 г гелия (за счет дефекта массы ядер), то мы получим огромную величину — около 10^8 ккал тепла. Эта энергия в миллионы раз больше энергии освобожденной атомами, равной массы при химических реакциях. Такую энергию дает, например, Днепрогэс при его интенсивной работе в течение часа.

Энергия, выделяемая при образовании ядер атомов элементов, называется энергией связи ядер. Степень прочности ядер атомов любого элемента определяется энергией связи ядер атомов этого элемента. Чем больше энергия связи ядра, тем прочнее связаны между собой его ядерные частицы — протоны и нейтроны. Для того чтобы разрушить ядро на составляющие его частицы (протоны и нейтроны), нужно затратить энергию, превышающую или равную энергии связи.

В атомной физике величину энергии обычно выра-

¹ Заметим, что $1 \text{ эрг} = 2,4 \cdot 10^{-8} \text{ ккал}$.

жают в электрон-вольтах (эв) или в мегаэлектрон-вольтах (мэв).

$$1 \text{ мэв} = 10^6 \text{ эв} = 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ эрг.}$$

Различные ядра обладают различной энергией связи. Например, полная энергия связи ядра гелия равна 28 мэв, а энергия α -частиц радиоактивного излучения не превышает 8,8 мэв.

Разделив полную энергию связи E на число частиц в ядре, мы получим среднюю энергию связи $\bar{\epsilon}$, приходящуюся на одну ядерную частицу. Обозначая число ядерных частиц (их называют нуклонами) через A , мы можем написать:

$$\bar{\epsilon} = \frac{E}{A}.$$

Для ядра гелия $A = 4$, $E = 28 \text{ мэв}$; следовательно, мы получим для ядра гелия $\bar{\epsilon} = \frac{28 \text{ мэв}}{4} = 7 \text{ мэв}$. Вы-

числив подобным же путем значение $\bar{\epsilon}$ для ядер всех элементов, мы получим кривую зависимости $\bar{\epsilon}$ от A , представленную на рисунке 21.

На этой кривой мы видим, что средняя энергия связи $\bar{\epsilon}$ у легких ядер испытывает периодические колебания, достигая максимума для нескольких элементов. Это показывает образование устойчивых групп ядер этих элементов из четных пар протонов и нейтронов.

Анализ кривой указывает на два возможных пути высвобождения внутриядерной энергии. Первый путь—это путь деления ядер тяжелых элементов на более легкие. Действительно, если разделить, например, ядра урана 238 на два ядра (осколки), то мы получили бы новые атомы, массовые числа которых сопоставимы с массовым числом элементов, находящихся в середине таблицы Менделеева (скажем, барий и технеций). Мы знаем, что энергия связи этих ядер равна 8,6 мэв, тогда как энергия связи урана 238 равна 7,5 мэв.

На каждый из образованных из урана 238 осколочных ядер приходится массовое число 119. Отсюда энергия связи двух этих ядер равна $119 \times 8,6 + 119 \times 8,6 = 2047 \text{ мэв}$; энергия же связи исходного

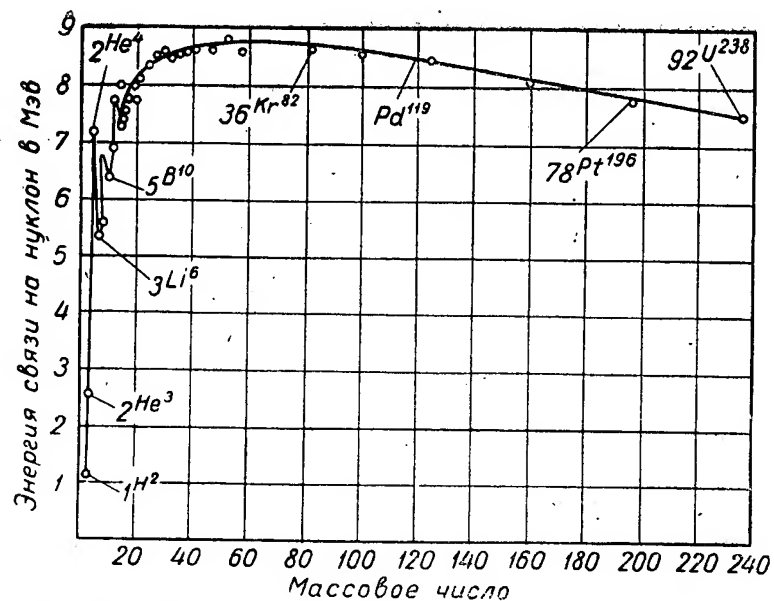


Рис. 21. Энергия связи ядер на один нуклон в зависимости от массового числа.

ядра урана 238 составляет лишь $238 \times 7,5 = 1785$ мэв. Разность этих двух энергий равна 262 мэв. Это количество энергии и высвобождается при делении ядер урана в виде тепловой энергии. Точно такая же картина получится при делении ядер других тяжелых элементов.

Второй путь, на который указывает анализ приведенного графика, это путь высвобождения энергии соединением (синтезом)¹ легких ядер в более тяжелые.

Допустим, например, что ядро гелия образуется из двух ядер атомов дейтерия. Средняя энергия связи частиц в ядре дейтерия равна 1,09 мэв, а в ядре гелия—7 мэв. Полная энергия связи двух ядер дейтерия равна $1,09 \times 2 + 1,09 \times 2 = 4,36$ мэв, а полная

¹ Синтез ядер считается возможным у легких элементов примерно до никеля (зона синтеза), после чего начинается зона деления ядер.

энергия связи получаемого ядра гелия равна $7 \times 4 = 28$ *мэв*. Разность этих энергий составляет 23,64 *мэв*, что и высвобождается при синтезе ядра гелия из ядер дейтерия.

Подсчеты показывают, что при синтезе 1 г гелия из ядер дейтерия высвобождается такое количество энергии, которое выделяется при полном сгорании 13,6 *т* бензина. При делении же 1 г урана высвобождается тепло, для получения которого нужно сжечь 1,8 *т* бензина. Отсюда мы можем заключить, что при синтезе ядер высвобождается гораздо больше энергии, чем при делении ядер.

Реакция синтеза ядер протекает лишь при наличии сверхвысокой температуры (такого же порядка, как и в недрах Солнца); такая реакция, которая идет лишь при наличии сверхвысокой температуры, называется термоядерной реакцией.

Открытие реакции синтеза атомных ядер решило проблему, тысячи лет волновавшую умы ученых; каков источник того огромного количества энергии, которое посылает Солнце? Теперь дело решается просто. Более чем на $\frac{1}{3}$ Солнце состоит из газообразного водорода, который при царящей в нем температуре (порядка 20 млн. градусов) и сверхвысоком давлении превращается в гелий (синтез ядер гелия). При таких реакциях, как мы видели выше, выделяется колоссальное количество атомной энергии, которое Солнце посылает в мировое пространство без заметного ослабления интенсивности излучения.

Как видно, источником солнечной энергии является атомная энергия. Такие же процессы превращения водорода в гелий путем термоядерных реакций происходят и в других звездах.

Энергия, скрытая в каменном угле, нефти, торфе, дереве, энергия ветра, рек, электроэнергия и т. д., является, в конечном счете, преобразованной энергией Солнца. Отсюда мы видим, какое громадное значение имеет атомная энергия, высвобождаемая Солнцем для жизни человека. Без солнечной энергии не мыслима жизнь. О методах же получения атомной энергии в земных условиях (путем деления ядер и их синтеза) мы расскажем несколько позже.

О ПРИРОДЕ ЯДЕРНЫХ СИЛ

Опыты Резерфорда по рассеянию α -частиц показывают, что ядерные силы являются коротко действующими силами (они действуют лишь в пределах самого ядра). Это значит, что радиус действия ядерных сил равен величине порядка 10^{-12} см, что соответствует величине радиуса самих ядер атомов. Как уже говорилось, ядерные силы имеют специфическую природу, отличную от обычных электрических и других известных нам сил.

Обусловленные ядерными силами радиоактивные процессы никак нельзя изменить ни действием электрических и магнитных сил, ни высокой температурой и давлением. В чем же природа ядерных сил?

В 1934 г., после открытия нейтронов, возникла теория, согласно которой ядерные силы взаимного притяжения рассматриваются как обменные силы, действующие между протонами и нейтронами в ядре.

Согласно этой теории ядерные силы обусловлены тем, что ядерные частицы обмениваются между собой электронами и позитронами. В ядре происходит взаимное превращение протонов и нейтронов друг в друга путем испускания и поглощения электронов и позитронов. Протон, испуская позитрон, превращается в нейтрон, а нейтрон, поглощая позитрон, превращается в протон. И наоборот, нейтрон, испуская электрон, превращается в протон, а протон, поглощая электрон, превращается в нейтрон. Число протонов и нейтронов в ядрах остается в отдельности постоянным. В противном случае, если электрон, не успев поглотиться, покинет ядро, произойдет ядерная реакция. Этим именно объясняются все ядерные реакции типа β -распада элементов¹. В частности, подобные реакции имеют место при превра-

¹ Ядерные реакции, при которых происходит излучение электронов или позитронов, называются реакциями β -распада; β -излучение характерно искусственным превращениям легких и средних элементов, тогда как естественным превращениям тяжелых элементов свойственны α - и β -излучения. Что же касается γ -излучения, то оно возникает в процессе α - и β -излучения, при котором происходит выделение избыточной энергии, которой обладают ядра атомов при их превращениях.

щении изотопа фосфора в кремний, актиния—в торий.

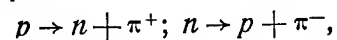
Представление о том, что природа ядерных сил объясняется электронно-позитронным обменом между ядерными частицами, удовлетворяет качественную сторону вопроса. Но количественно это представление расходится с опытом, а именно силы, возникающие за счет электронно-позитронного обмена, по крайней мере в 10^{10} раз меньше наблюдаемых на опыте ядерных сил. В чем же здесь причина? Японский физик Юкава высказал гипотезу, что обменные частицы должны быть коротко живущими (распадающимися на другие частицы) частицами с массой, несколько превышающей массу электрона. И действительно, в 1947 г. английский физик Поуэлл обнаружил в космических лучах частицы, удовлетворяющие требованиям гипотезы Юкавы. Эти частицы были названы π -мезонами. С тех пор существует теория, в которой предполагается, что между ядерными частицами происходит не электронно-позитронный обмен, а обмен π -мезонами, которые почти в 300 раз тяжелее электронов. π -мезоны неустойчивы и распадаются (в течение примерно стомиллионной доли секунды) на так называемые „мю“ (μ)-мезоны¹. μ -мезоны в свою очередь распадаются в течение порядка миллионной доли секунды на электроны или позитроны (в зависимости от знака μ -мезонов). Сказанное можно схематически представить в следующем виде:

$$\pi^{\pm} \rightarrow \mu^{\pm} + \nu; \mu^{\pm} \rightarrow e^{\pm} + 2\nu,$$

где ν —нейтральная частица—нейтрино, а e —электрон или позитрон в зависимости от знака. В соответствии с этим говорят, что протон, испуская положительно заряженный π^{+} -мезон, превращается в нейтрон, а нейтрон, поглощая его, превращается в протон и, наоборот, нейтрон, испуская отрицательно заряженный π^{-} -мезон, становится протоном, а протон поглощая его, превращается в нейтрон. Если же π -мезон, не успев поглотиться нуклонами, распадается,

¹ Более подробно о мезонах будет сказано в главе о космических лучах.

то произойдет ядерная реакция. π -мезон при этом превратится в конечном счете в электрон или позитрон в зависимости от знака π -мезона, что мы и наблюдаем на практике, как β -распад ядер. Эти превращения происходят по следующей схеме:



где p —протон, а n —нейтрон.

Возникает вопрос: насколько же точна эта теория? Можно сказать, что теория ядерных сил, предполагающая обмен π -мезонами, оказалась плодотворной, но в своем развитии она натолкнулась на ряд трудностей. Может быть эти трудности обусловлены существованием других, еще не обнаруженных частиц, которые тоже могли бы быть переносчиками ядерных сил. В космических лучах и при помощи техники ускорения открыт ряд новых еще более тяжелых частиц, природа которых настоятельно изучается. Так что не исключена возможность существования некоторых новых частиц, которые тоже могли бы служить переносчиками ядерных сил¹.

Кроме обменных сил, в ядре действуют еще силы электрического происхождения. Обменные силы притяжения действуют между протонами, нейтронами, а также между протонами и нейтронами, тогда как электрические силы отталкивания действуют лишь между протонами. Ядерные силы притяжения действуют только между частицами-соседями, тогда как электрические силы отталкивания распространяются между всеми ядерными частицами и за пределы ядра. Поэтому с ростом атомного номера растет и роль электрических сил отталкивания. Этим объясняется естественная радиоактивность тяжелых элементов.

Если атомное ядро рассмотреть как каплю особой ядерной „жидкости“ (как это сделали Я. И. Френкель и Н. Бор), то из такой „жидкостной“ модели ядра вытекает существование еще силы поверхностного натяжения. В пользу теории „жидкостной“ модели

¹ Частицы—протоны, нейтроны, мезоны, электроны, позитроны, γ -частицы, нейтрино—получили название элементарных частиц; протоны и нейтроны, имея в виду их взаимную превратимость, получили общее название „нуклоны“.

говорит, во-первых, то, что объем ядер с ростом атомного номера изменяется строго пропорционально числу ядерных частиц; во-вторых, энергия связи, приходящаяся на одну ядерную частицу, с ростом атомного номера меняется очень мало. Это объясняется тем, что каждая ядерная частица взаимодействует только с ее окружающими „соседями“. Согласно этой теории ядра атомов должны обладать поверхностным натяжением. Доля поверхностного натяжения, приходящаяся на один нуклон, уменьшается с ростом атомного номера элемента (рост атомного номера элементов приводит к увеличению размеров ядра). По сравнению с ядерными силами сцепления сила поверхностного натяжения играет ничтожную роль. С другой стороны, электрические силы отталкивания, распространяющиеся между всеми ядерными частицами (и действующие за пределы ядра), увеличиваются с ростом атомного номера. Указанные обстоятельства приводят к тому, что ядра тяжелых элементов становятся неустойчивыми, что приводит к их естественной радиоактивности. Таким образом, можно сказать, что в атомных ядрах действуют обменные силы взаимного притяжения (между всеми ядерными частицами), электрические силы взаимного отталкивания (между протонами) и поверхностное натяжение. Электрические силы отталкивания начинают играть существенную роль с ростом атомного номера элементов, т. е. в тяжелых ядрах; при этом поверхностное натяжение, приходящееся на каждую ядерную частицу, уменьшается. Этим можно объяснить самопроизвольные радиоактивные превращения тяжелых элементов.

ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ ЦЕПНОЙ ЯДЕРНОЙ РЕАКЦИИ

Люди давно уже привыкли получать тепловую энергию путем сжигания обычного химического топлива: каменного угля, нефти и т. д. При помощи этого топлива человек приводит в движение транспорт, механизмы на фабриках и заводах, отапливает помещения и т. д. Но, как показывают подсчеты, химическая энергия, содержащаяся в атомах данного вещества, в сотни и тысячи миллионов раз меньше,

чем ядерная энергия, сконцентрированная в том же веществе. Из этого видно, какое громадное значение имело бы открытие методов выделения ядерной энергии, которая при химических процессах сжигания топлива остается незатронутой. Как уже говорилось, путь к практическому использованию ядерной энергии открыла цепная реакция деления. Для осуществления цепной ядерной реакции необходимы вещества, ядра которых делятся под действием нейтронов, и устройство, регулирующее скорость нейтронов.

До настоящего времени известны только два вещества, ядра которых под действием нейтронов вступают в реакцию деления: уран и плутоний. Плутоний образуется в результате радиоактивных превращений, которые испытывает уран 238 при поглощении нейтронов. Он относится к числу так называемых трансурановых (лежащих за ураном) элементов, занимая 94-й номер в периодической системе Менделеева.

В качестве замедлителей нейтронов, как показали исследования, необходимо применять вещества, состоящие из ~~легких~~ атомов, например ~~водорода~~, углерода.

Развитие цепной реакции путем деления ядер урана 235 схематически было показано на рисунке 17. Представление о самом методе замедления нейтронов можно получить из рисунка 22. На этих рисунках можно видеть, что нейтроны размножаются очень быстро путем деления ядер урана 235. Получится возрастающая по геометрической прогрессии цепная реакция, при которой должно выделяться колоссальное количество ядерной энергии. Нейтроны лучше всего замедляются при столкновении с ядрами атомов легких элементов. Молекулы обычной воды содержат два атома самого легкого элемента водорода. Поэтому, казалось бы, вопрос замедления нейтронов может быть решен применением обычной воды, которой очень много в природе. Оказалось, что обычная вода не только замедляет нейтроны, но и поглощает их (что приводит к затуханию цепной реакции). Существует, однако, так называемая тяжелая вода, которая не поглощает нейтроны,

хотя она несколько хуже замедляет нейтроны, чем обычная вода. Тяжелая вода является примесью к обычной воде. Но добыча тяжелой воды связана с большими затратами, так как в природной воде ее содержится очень мало (0,02%). Ввиду этого в качестве замедлителя применяют чаще всего углерод в виде графита.

Цепная ядерная реакция начинается не в любой массе урана, а при наличии некоторой определенной массы, называемой критической массой. Вели-

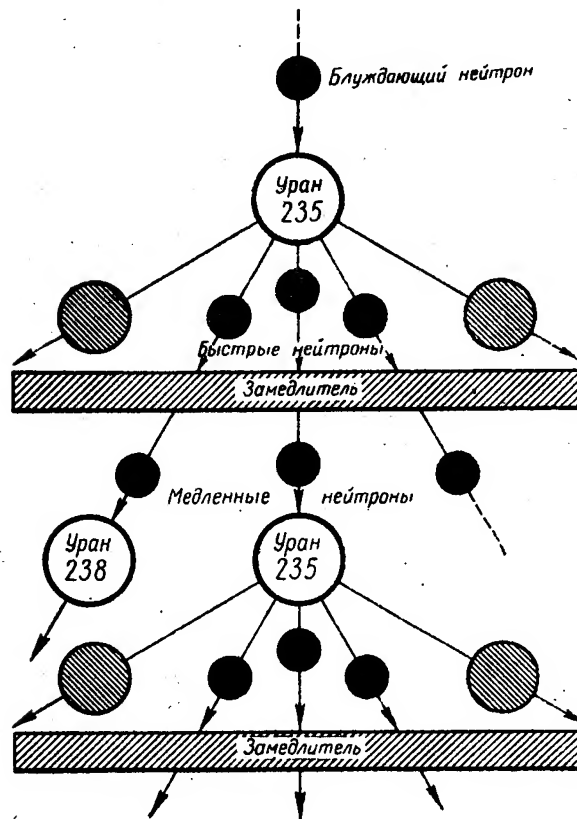


Рис. 22. Метод замедления нейтронов и осуществление цепной ядерной реакции в природном (не разделенном на изотопы) уране.

чина критической массы зависит от формы взятого куска урана. Наименьшей критической массой обладает кусок урана, которому придается форма шара. Дело в том, что нейтрон должен пролететь значительное расстояние, прежде чем он попадет в ядро. Ведь ядра занимают очень малый объем сравнительно с объемом атома. Мы уже говорили, что попасть в ядро—дело нелегкое; для этого нужно или большое количество „снарядов“, или для одного „снаряда“ большое количество ядер-мишеней. Если кусок урана будет небольшого размера, то нейтрон пролетит его, не задев ни одного ядра. Вероятность встречи нейтрона с ядром урана становится значительной лишь при критических размерах.

Существенную роль играет также отражение нейтронов, вылетающих из массы урана, от стенок, окружающих массу урана. Достаточно интенсивное отражение нейтронов может привести к началу развития цепной реакции даже в таком куске урана, масса которой меньше обычной критической массы при отсутствии отражателя. В качестве отражателя нейтронов может быть применен тот же графит, которым окружают массу урана. Такова теория этого важнейшего вопроса. Обратимся теперь к практическому осуществлению установок, высвобождающих внутриядерную энергию.

ЯДЕРНЫЕ РЕАКТОРЫ

Энергетическая установка, в которой происходит выделение ядерной энергии, называется ядерным реактором. Главными составными частями ядерного реактора являются делящееся вещество (уран, плутоний) и замедлитель быстрых нейтронов, например графит¹. Для увеличения мощности ядерного реактора его окружают отражателями нейтронов внутри активной зоны реактора, где происходит процесс цепного деления ядер. Регулировка цепной реакции, ее усиление или замедление (вплоть до остановки) осуществляется автоматическим движением и вы-

¹ Ядерные реакторы, в которых замедлителем служит графит, называются уран-графитовыми реакторами.

движением специальных стержней из кадмия или бористой стали, которые сильно поглощают нейтроны и тем самым гасят цепную реакцию (рис. 23). Отбор тепла от реактора осуществляется теплоносителем, который в теплообменнике превращает воду в пар большого давления. Пар этот приводит в движение турбогенератор, связанный с электрогенератором, вырабатывающим электроэнергию. Ускоренный отбор теплоты от реактора осуществляется мощными циркуляционными насосами. Для защиты персонала от радиоактивного излучения реактор окружают толстыми стенами из бетона и других веществ. Управление ядерным реактором осуществляется дистанционно, т. е. на определенном расстоянии от реактора. Схематическое устройство ядерного реактора, обслуживающего электростанцию, приведено на рисунке 24.

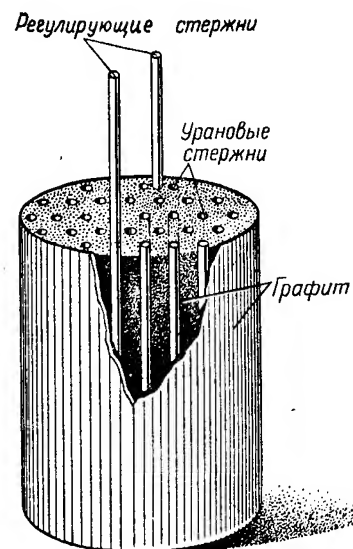


Рис. 23. Устройство ядерного реактора.

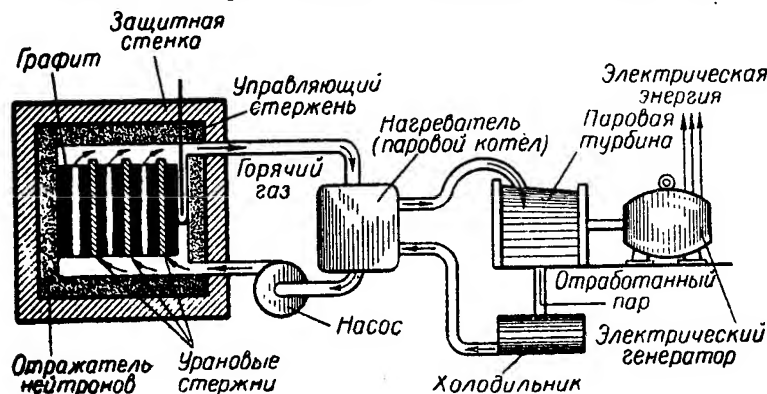


Рис. 24. Принцип работы атомной электростанции.

В 1955 г. на июльской сессии Академии наук СССР по мирному использованию атомной энергии, куда были приглашены и зарубежные ученые, советские физики докладывали о своих предварительных работах, проведенных ими на опытных моделях реакторов (в виде уран-графитовых шаров). Эти работы привели наших физиков к созданию первого советского (первого и в Европе) реактора. Вертикальный разрез первого опытного советского реактора показан на рисунке 25.

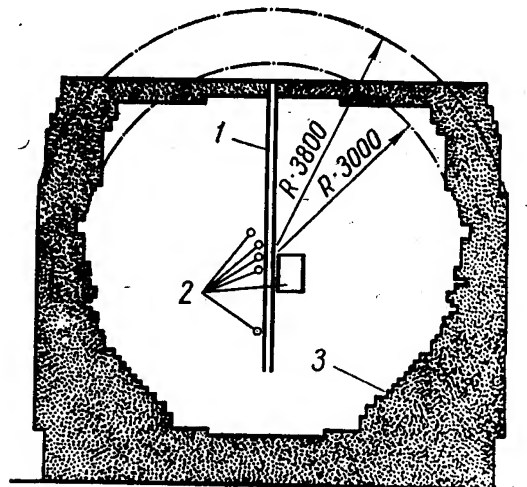


Рис. 25. Вертикальный разрез первого советского реактора:

1—канал для регулирующего стержня; 2—экспериментальные каналы; 3—отражатель.

Для окончательного выбора графита в качестве замедлителя советским физикам пришлось выполнить предварительную большую экспериментальную и теоретическую работу. Основной целью в конечном счете было—подобрать такую конфигурацию урана и замедлителя с учетом их размеров и взаимных расположений, при которой имело бы место максимальное развитие цепной реакции (максимальное размножение нейтронов путем деления ядер урана). Задача эта была нелегкая, так как советские физики до этого не располагали какими-либо серьез-

ными опытными данными других ученых, а некоторые зарубежные физики (Германия) ошибочно считали углерод непригодным в качестве замедлителя.

Дело в том, что для правильного заключения требуется применить достаточно чистый углерод (как показали опыты, малейшее загрязнение углерода может привести к ошибочным заключениям).

В согласии с теорией эксперимент показывает, что опытный реактор работает оптимально при диаметрах урановых стержней, равных 3—4 см. Для постройки реактора было решено поместить цилиндрические урановые блоки в узлах квадратной решетки с шагом 20 см. Реактор начал работать, когда было загружено около 45 т урана (согласно теории, 25—50 т). Отражающий нейтроны слой в первом советском реакторе составлял около 80 см. Активная зона реактора имеет вид сферы с радиусом около 3 м. Было установлено, что цепная реакция легко регулируется при помощи подвижных кадмиевых стержней (опуская и поднимая их в зону ядерной реакции).

В первом реакторе не предусмотрен непрерывный отвод выделяющейся энергии, но тем не менее за счет большой теплоемкости системы нашим физикам удавалось кратковременно поднимать мощность котла до нескольких тысяч киловатт. При таких больших мощностях было обнаружено интересное явление саморегулирования котла. При снятии кадмиевых стержней (поглощающих нейтроны) мощность котла увеличивается до некоторого предела, а затем начинает падать. Это происходит вследствие того, что при нагревании урана, а затем и графита развитие цепной реакции в реакторе начинает уменьшаться (становится меньше указанного предела). Таким образом, реактор оказался, вопреки прежним представлениям, совершенно взрывобезопасным и работа на нем стала производиться более смело.

Пуск первого опытного ядерного реактора имел фундаментальное значение для будущего. На нем была доказана возможность осуществления цепной ядерной реакции деления ядер в уран-графитовой системе. Реактор дал мощное средство для выполнения ряда физических опытов, позволил поставить

более тщательный контроль чистоты и качества материалов. Это сыграло важную роль при сооружении новых более совершенных реакторов. В реакторе впервые были получены в заметных количествах искусственные радиоактивные изотопы, которыми снабжаются различные отрасли науки и техники. Пуск первого реактора поднял уровень научного исследования на новую, более высокую ступень.

Советские ученые на основании опыта работы первого реактора и проведенных на нем исследований по ядерной физике спроектировали и построили другие ядерные реакторы. Из этих реакторов малый реактор РФТ¹ предназначен специально для разнообразных физических и технологических исследований. О нем наши советские физики докладывали в 1955 г. на Женевской конференции Организации Объединенных Наций по мирному использованию атомной энергии. Опыты, накопленные на РФТ, позволили советским физикам построить реактор, работающий на атомной электростанции СССР, о котором также докладывали советские физики на Женевской конференции. Реактор РФТ сыграл огромную роль для конструкции тепловыделяющих элементов новых энергетических ядерных реакторов, для производства искусственных изотопов и т. д. Для решения этих задач необходимо было создать мощный поток нейтронов; в таком потоке можно изучать разнообразные явления, получать новые урановые элементы, испытывать новые образцы урановых стержней и конструктивных материалов ядерных реакторов.

Замедлителем в реакторе РФТ служит графит. Активная зона реактора РФТ имеет форму цилиндра с диаметром и высотой 1 м. Его мощность достигает 10 тыс. квт. Поток тепловых (медленных) нейтронов в его центре равен 8×10^{18} нейтронов на квадратный сантиметр в секунду. В качестве горючего для реакторов большей мощности применяется уран, обогащенный изотопом 235.

Для исследования действия излучения на различные вещества реактор РФТ имеет ряд каналов,

¹ Реактор для физических и технологических исследований.

выходящих из активной зоны через защитную оболочку. Эти исследования имеют важное практическое и научное значение, так как под действием облучения меняются свойства материалов. Было обнаружено, например, что сам уран и графит под действием излучения изменяют свою форму и размеры. Электро- и теплопроводность графита уменьшаются в несколько раз (до 10), происходит увеличение в объеме, что связано с нарушением его кристаллической решетки. Все эти данные имели огромное значение при конструкции реактора атомной электростанции Академии наук СССР. Без этих исследований конструирование и строительство атомной электростанции было бы невозможно.

АТОМНАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ СССР

Строительство первой промышленной атомной электростанции СССР мощностью 5 тыс. *квт* было закончено в июле 1954 г. Главной задачей при проектировании атомной электростанции было решение научно-технической проблемы создания надежно работающей промышленной атомной электростанции.

Пуск атомной электростанции, работающей на ядерном горючем, явился величайшей победой человеческого разума над силами природы.

Создание атомной электростанции в нашей стране является в то же время базой для подготовки необходимых кадров, способствует накоплению технического и экономического опыта в деле строительства новых атомных электростанций.

Принципиальная схема атомной электростанции приведена на рисунке 26.

Реактор станции представляет собой уран-графитовую систему, работающую на тепловых замедленных нейтронах с графитовым замедлителем. Охлаждение реактора осуществляется водой высокого давления. В качестве горючего в нем употребляется обогащенный уран, содержащий 5% изотопа 235 . Общая нагрузка этого урана составляет около 550 кг. Номинальная тепловая мощность реактора 30 тыс. *квт*; средний поток нейтронов 5×10^{18} нейтронов на $1 \text{ см}^2/\text{сек}$. Вода, воспринимающая тепло от реактора,

сама не превращается в пар. Она циркулирует через реактор по замкнутой системе, которая называется первым контуром.

Горячая вода первого контура проходит по внутренним трубам, расположенным в трубках большого диаметра, наполненных водой второго контура. Тепло

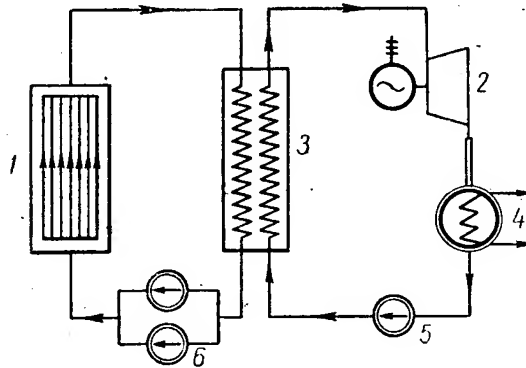


Рис. 26. Принципиальная схема атомной электростанции СССР.

1—реактор; 2—турбогенератор; 3—теплообменник;
4—конденсатор; 5 и 6—насосы.

первого контура передается воде второго контура, превращая ее в пар, которым приводится в движение турбогенератор мощностью в 5 тыс. *квт.*

В первом контуре вода нагревается до 270° , что возможно сделать (без превращения ее в пар) благодаря высокому давлению в 100 *атм.* Температура кипения такой воды будет 309° ; поэтому, нагреваясь в реакторе до 270° вода первого контура не достигает точки кипения. Во втором же контуре вода находится под давлением 12,5 *атм.* Это позволяет воде кипеть при температуре 200° . Таким образом, вода первого контура заставляет кипеть воду второго контура и нагреть полученный пар до температуры 260° . Этот пар и поступает в турбину электростанции.

Применение двухконтурной схемы теплосъема исключает возможность попадания радиоактивного пара в турбину. Благодаря этому обслуживание турбины и связанного с ней оборудования ничем не

отличается от обслуживания обычных теплоэлектроцентралей, так как для этого оборудования не требуется биологической защиты от радиоактивных излучений. Обыкновенная вода является одним из лучших теплоносителей, к тому же хорошо изученным в настоящее время. Выбор воды в качестве теплоносителя упрощает многие инженерные проблемы. С другой стороны, наличие воды в реакторе приводит как к добавочному замедлению нейтронов, так и к их добавочному поглощению. Это приводит в свою очередь к некоторому замедлению цепной реакции.

Существует такое соотношение количеств урана, графита и воды, при котором реактор будет наименее чувствителен к изменениям содержащегося в нем количества воды, но при этом конструкция реактора осложняется, увеличивается число стальных деталей внутри аппарата. Поэтому в реакторе атомной электростанции количество воды взято несколько меньше, чем это соответствовало бы точке наименьшей чувствительности к поглощению нейтронов.

В качестве конструктивного материала для труб системы охлаждения реактора была выбрана нержавеющая сталь, которая обладает прочностью, устойчива против коррозии и не разрушается под действием нейтронов. Механические качества стали под действием нейтронов изменяются в сторону упрочнения. Способность стали к удлинению уменьшается, оставаясь в допустимых пределах. Стальные трубы внутри реактора сделаны тонкостенными, так как сталь сильно поглощает нейтроны. Вместе с тем это приводит к уменьшению температурных напряжений.

Наиболее ответственной деталью реактора являются его урановые тепловыделяющие элементы. В кольцевом зазоре между внутренней стальной трубкой, по которой течет вода первичного контура, и внешней тонкостенной трубкой, не позволяющей осколкам деления проникать в газ, находится обогащенный уран в виде специального сплава, обеспечивающего хороший тепловой контакт и стойкость в нейтронном потоке. Тщательные исследования показали, что такое расположение тепловыделяющего вещества дает наиболее эффективные результаты. С учетом

всех свойств выбранного материала сконструирован и осуществлен на практике реактор атомной электростанции. Представление о конструкции этого реактора в целом дает рисунок 27.

Реактор заключен в герметический стальной цилиндрический кожух, покоящийся на бетонном основании. Кожух этот заполнен графитом, центральная часть которого пронизана рабочими каналами (стержнями) общим числом 128 (критическая масса урановых стержней достигается при 60 рабочих каналах). Каждый канал представляет собой длинный графитовый цилиндр, внутри которого находятся тонкостенные стальные трубки, по которым идет вода первичного контура. Вода, поступающая через верхнюю головку канала, проходит по трубке вниз и возвращается вверх, омывая при этом поверхность урановых тепловыделяющих элементов. Верхняя головка канала соединена с входным и сборным коллекторами.

Совокупность расположений урановых тепловыделяющих элементов образует цилиндрическую активную зону реактора размером 150×170 см, окруженную со всех сторон графитовым отражателем. Эта зона обведена на рисунке пунктиром.

Расходы воды через канал и ее температура на выходе контролируется по каждому каналу. Приборы, указывающие на это, находятся на центральном пульте. Они связаны с аварийной защитой, прекращающей ядерную реакцию в случае нарушения расхода воды через канал или превышения температуры воды сверх установленного предела. Снижение расхода воды в канале ведет к повышению температуры воды на выходе из канала. Возрастание расхода воды в канале указывает на разрыв трубок канала или его коммуникаций. Все эти отклонения считаются аварийными и ведут к автоматическому срабатыванию стержней аварийной защиты (прекращению цепной реакции).

Каждый канал снабжен отключающим устройством и обратным клапаном, которые отсекают от коллекторов поврежденный канал, откуда в реактор может проникнуть вода. Случай разрушения тепловыделяющих элементов контролируется по повышению активности воды или газа.

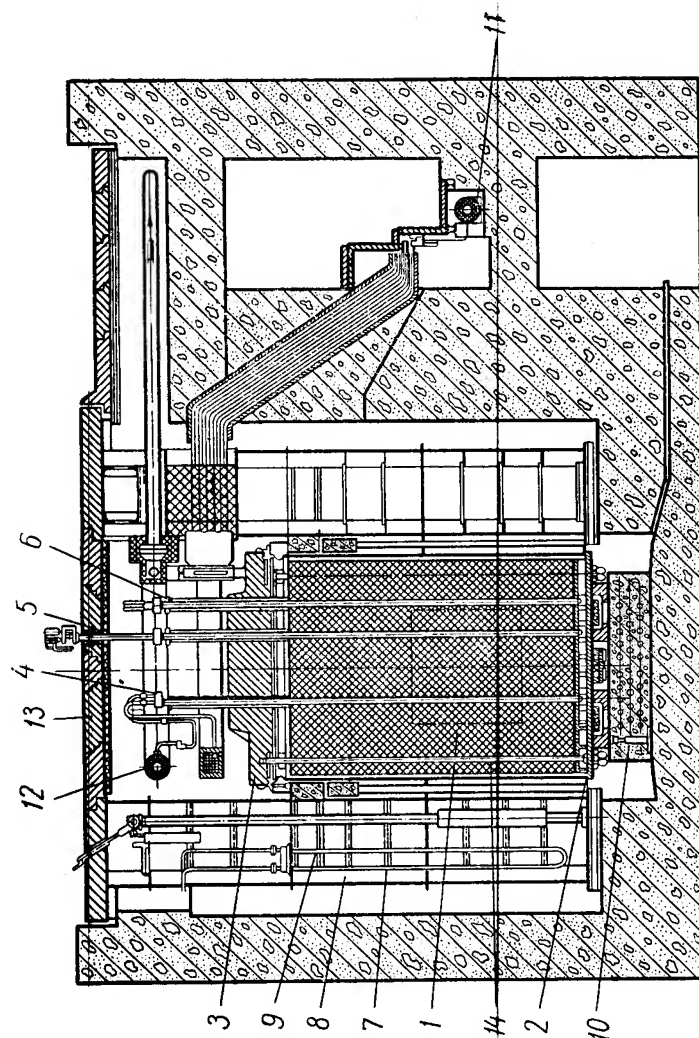


Рис. 27. Реактор атомной электростанции:
 1—кляпка реактора; 2—нижняя плита; 3—верхняя плита; 4—рабочий канал; 5—канал аварийной защиты; 6—канал автоматического регулирования; 7—канал ионизационной камеры; 8—боковая защита (вода); 9 и 10—холодная вода; 11—распределительный коллектор; 12—сборный коллектор; 13—верхняя защита (свинец); 14—охлаждаемая стойка отражателя.

Для компенсации избыточной ядерной реакции в аппарате (при его отклонении от режима) размещены 18 компенсирующих стержней из карсида бора. Из них шесть расположены вблизи центра аппарата и 12 на периферии активной зоны (рис. 28). Эти стержни передвигаются в специальных каналах, охлаждаемых водой из отдельной системы охлаждения (такая же система имеется и для охлаждения графитового отражателя). Эти стержни перемещаются по вертикали при помощи тросиков и так называемых сервомоторов. Их положение фиксируется на специальном табло центрального пульта управления (см. рис. 29).



Рис. 28. Верхняя часть ядерного реактора.

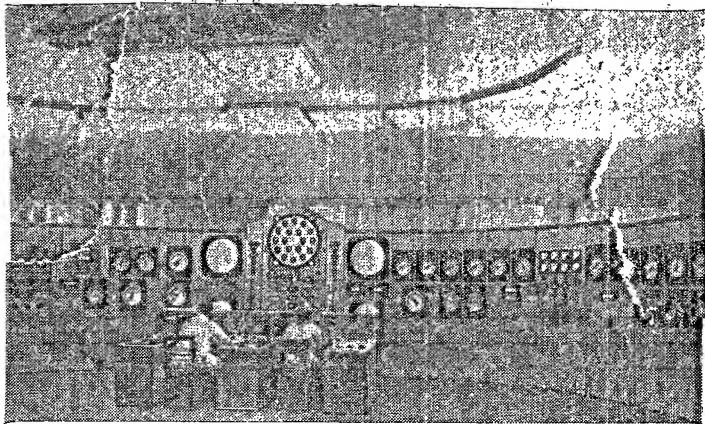


Рис. 29. Центральный пульт управления атомной электростанции.

При помощи их можно добиться выравнивания выходной температуры воды по рабочим каналам.

По суммарной глубине погружения всех компенсирующих стержней можно определить (при работе реактора) запас атомного топлива, превышающий его критический вес. Значительное превышение критического веса, а следовательно, и рабочих каналов, продиктовано необходимостью обеспечения длительной работы реактора. Вследствие деления ядер урана 235 или, как говорят, в результате „выгорания“ урана 235 образуются осколки — „шлаки“, которые поглощают нейтроны. При работе реактора образуется также ксенон, обладающий способностью так называемого резонансного поглощения нейтронов. За счет этих причин происходит потеря мощности реактора. При наличии запаса урана в реакторе эта мощность восстанавливается соответствующим поднятием из реактора компенсирующих стержней.

Кроме компенсирующих стержней, имеются четыре стержня автоматического регулирования, размещенные в отражателе. Их положение изменяется автома-

тически посредством сервомоторов, действующих от ионизационных камер¹.

При росте цепной реакции стержни автоматического регулирования опускаются, а при затухании цепной реакции поднимаются. Два из этих стержней находятся в работе, а два в резерве. Наконец, имеются еще два стержня аварийной защиты, сервомоторы которых помещены над верхней защитной плитой аппарата (см. рис. 28). Эти стержни при поступлении аварийного сигнала свободно падают в активную зону аппарата, прекращая при этом цепную реакцию.

Всего на пульте управления имеется 12 различных аварийных сигналов, из которых важнейшими являются: сигналы превышения заданного уровня мощности на 20%, сигнал слишком большой скорости нарастания цепной реакции, сигнал отключения электрического питания главных циркуляционных насосов, сигналы изменений расхода и температуры воды в рабочих каналах и др.

В реакторе имеется шесть изогнутых каналов, достигающих границы активной зоны и отражателя. Каналы эти предназначены для изучения поведения различных образцов материалов в интенсивном нейтронном потоке, достигающем до 8×10^{13} нейтронов на квадратный сантиметр в секунду, а также для изучения поведения этих материалов в условиях высокой температуры. Кроме того, имеются три прямых горизонтальных канала, один из которых доведен до центра аппарата. Они предназначены для изучения нейтронной плотности по радиусу аппарата. Интенсивность пучков нейтронов по выходе из прямых каналов достигает 10^7 и 10^9 нейтронов на квадратный сантиметр в секунду. Пучки этих нейтронов предназначены для ядерно-физических исследований. Биологическая защита от излучения обеспечивается боковой водяной защитой с толщиной

¹ Ионизационная камера—это прибор, в котором возникает ток от ионизации содержащегося в нем газа под действием радиоактивных лучей, возникающих в данном случае в реакторе. Чем интенсивнее ядерная реакция, создающая это излучение, тем больше ток ионизации в ионизационной камере, приводящий в действие сервомоторы.

слоя 1 м и бетонной стеной толщиной 3 м. В верхней части аппарата биологическая защита обеспечена усилением графитового отражателя, верхней стальной крышкой аппарата и чугунной плитой. Наблюдение за всеми процессами работы станции в целом осуществляется на центральном пульте управления, представленном на рисунке 29. Во всех помещениях станции поставлены контрольные приборы, устанавливающие дозу γ -излучения и радиоактивности воздуха. В случае повышения нормы излучения в каком-либо помещении, дежурный, находящийся у центрального дозиметрического щита, будет предупрежден световым и звуковым сигналом, дублирующимся в том помещении, где произошло повышение нормы излучения. Все помещения станции тщательно вентилируются, а воздух выбрасывается в высокую трубу. Из первичного контура радиоактивная вода сбрасывается в резервуары, в которых она сначала выдерживается, после чего активность воды доводится разбавлением ее до безопасной нормы.

Опыт эксплуатации атомной электростанции показывает, что она работает надежно и устойчиво. За все время ее работы не было ни одного случая выхода из строя тепловыделяющих элементов. Расход воды в процессе эксплуатации был стабильным. Режим аппарата по температуре и давлению рабочего пара имеет высокую стабильность. Система автоматического регулирования и аварийной защиты реактора работает безотказно. Работа персонала при избранном режиме аппарата заключается в наблюдении за приборами и сигналами. В целях экономии атомного топлива и удлинения срока службы реактора выгрузка из реактора урановых тепловыделяющих элементов осуществляется частями. Реактор догружают свежими тепловыделяющими элементами; при этом производят перестановку менее „выгоревших“ периферийных элементов в центр аппарата. На эту операцию, производимую раз в два месяца, требуется всего лишь два-три дня. Были изучены режимы работ станции при различных нагрузках турбогенератора; станция испытана также на теплофикационном режиме для отопления жилого поселка. На всех режимах станция работала вполне устойчиво.

Интенсивность γ -излучения в центральном зале при нормальной мощности реактора значительно ниже допустимой биологической дозы. При разгрузке аппарата защитные стены зала вполне обеспечивают в окружающих помещениях полную безопасность работы. Защита помещений парогенераторов, насосов и турбопроводов первичного контура также исключает возможность проникновения излучения в обслуживаемое помещение. На ограниченное время можно заходить и в помещение, где расположено это оборудование. Радиоактивность газа, обусловленная в основном радиоактивностью аргона воздуха, в центральном зале станции и в других помещениях ничтожно мала. Это указывает на удовлетворительность работы вытяжной вентиляции, высота трубы которой гарантирует полную безопасность окружающего населения. За период работы станции не было ни одного случая переоблучения персонала. Сотрудники станции снабжены дозиметрическими фотокассетами и подвергаются периодически медосмотру.

Результатом соблюдения строжайшей дисциплины и неуклонного выполнения правил техники безопасности является почти полное отсутствие случаев лучевой болезни у обслуживающего персонала станции.

Для охраны здоровья людей, занятых использованием атомной энергии, проводится ряд мероприятий. К таким мероприятиям относятся установление строго допустимой дозы радиации, установление норм содержания радиоактивности в воздухе, установление сокращенного рабочего дня, дополнительных отпусков, контроль за соблюдением гигиенических правил и выполнением действующего законодательства и непрерывное медицинское наблюдение. Допустимая доза внешнего облучения, установленная в СССР, равна 0,05 рентгена за рабочий день. В течение недели доза облучения не должна превысить 0,3 рентгена. Установлены также предельно допустимые концентрации радиоактивных веществ в воздухе и воде, что гарантирует от несчастных случаев при их попадании в организм.

Если человек находится в загрязненных радиоактивным веществом помещениях (местности), то он должен надевать специальный защитный пневматиче-

ский костюм из пластического (непроницаемого для воздуха и радиоактивных веществ) материала с принудительной подачей воздуха. Применение всех этих мер защиты совместно с государственным контролем за их выполнением практически исключает возможность радиационных поражений людей в нашей стране. Это обеспечило то обстоятельство, что в Советском Союзе было только два случая острой лучевой болезни, о которой наши ученые указывали в докладах на Женевской конференции. В результате принятых надлежащим образом мер лечения больные восстановили свое здоровье. В то же время, судя по официальному описанию, в США имело место 13 тяжелых лучевых заболеваний; некоторые из них имели смертельный исход.

СРАВНЕНИЕ АТОМНОЙ И УГОЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Сравнение атомной и угольной электростанций показывает, что стоимость киловатт-часа ядерной электроэнергии значительно превышает среднюю себестоимость киловатт-часа мощных тепловых электростанций СССР, которая в 1953 г. составляла 10 коп. за киловатт-час. Однако она сравнима со стоимостью одного киловатт-часа тепловых электростанций аналогичного типа малой мощности 1—5 тыс. *квт*. Высокая себестоимость одного киловатт-часа энергии, вырабатываемой первой атомной электростанцией, обусловлена малыми размерами станции, большими затратами на штучное изготовление тепловыделяющих элементов, повышенным расходом урана вследствие малых размеров атомного реактора, рядом особенностей конструкций, направленных к созданию повышенной надежности работы, от которых, как показывает опыт эксплуатации, можно отказаться в дальнейшем. Анализ стоимости одного киловатт-часа электроэнергии применительно к варианту атомной электростанции с полезной мощностью 100 тыс. *квт*, оборудованной двумя реакторами такого же типа, как и на первой атомной электростанции СССР, с тепловой мощностью каждого реактора 200 тыс. *квт*, с учетом усовершенствования, показывает, что себестоимость электроэнергии в этом случае существенно понижается.

Сравнение экономических показателей этой усовершенствованной станции со станцией такой же мощности, работающей на угле, показывает, что стоимость топлива на один киловатт-час на атомной станции уже близка к стоимости киловатт-часа энергии на угольной станции той же мощности на топливе низкого качества.

Расчеты показывают, что численность персонала, обслуживающего атомный реактор и парогенераторы, будет в два-три раза меньше числа работающих в котельной и на вспомогательных сооружениях угольной станции той же мощности. Расчеты также показывают, что материальные затраты по своей структуре существенно изменяются и более благоприятны для атомной электростанции. Это объясняется отсутствием на ней больших топливных складов, системы подачи топлива, углеразмольных мельниц, золоудаления и других громоздких сооружений, характерных для угольных электростанций (см. рис. 30).

Увеличение размеров реактора позволяет снизить обогащение урана, закладываемого в реактор. Расчеты показывают, что для работы двух реакторов электростанции мощности 1 млн. *квт* необходимо до 20 *т* урана в год, обогащенного до 2,5% изотопом урана 235 (вместо обогащенного до 5% на первой атомной электростанции). Уменьшение обогащения приводит к существенному понижению топливной составляющей стоимости одного киловатт-часа электроэнергии, вырабатываемой на атомной электростанции.

Атомная электростанция уже сейчас не уступает в экономичности угольной станции, находящейся далеко от района добычи угля или работающей на низкосортном топливе. Это открывает перспективу использования атомных электростанций для удовлетворения возрастающей потребности в электроэнергии в промышленности и сельском хозяйстве. Атомная электростанция может быть использована и для теплофикации городов и сел. В Советском Союзе планируется создание атомных электростанций разных типов и мощностей (50—100 тыс. *квт* и более).

Экономические расчеты показывают возможность выработки электроэнергии на таких станциях стоимостью в пределах 10—20 коп. за один *квт-час*.

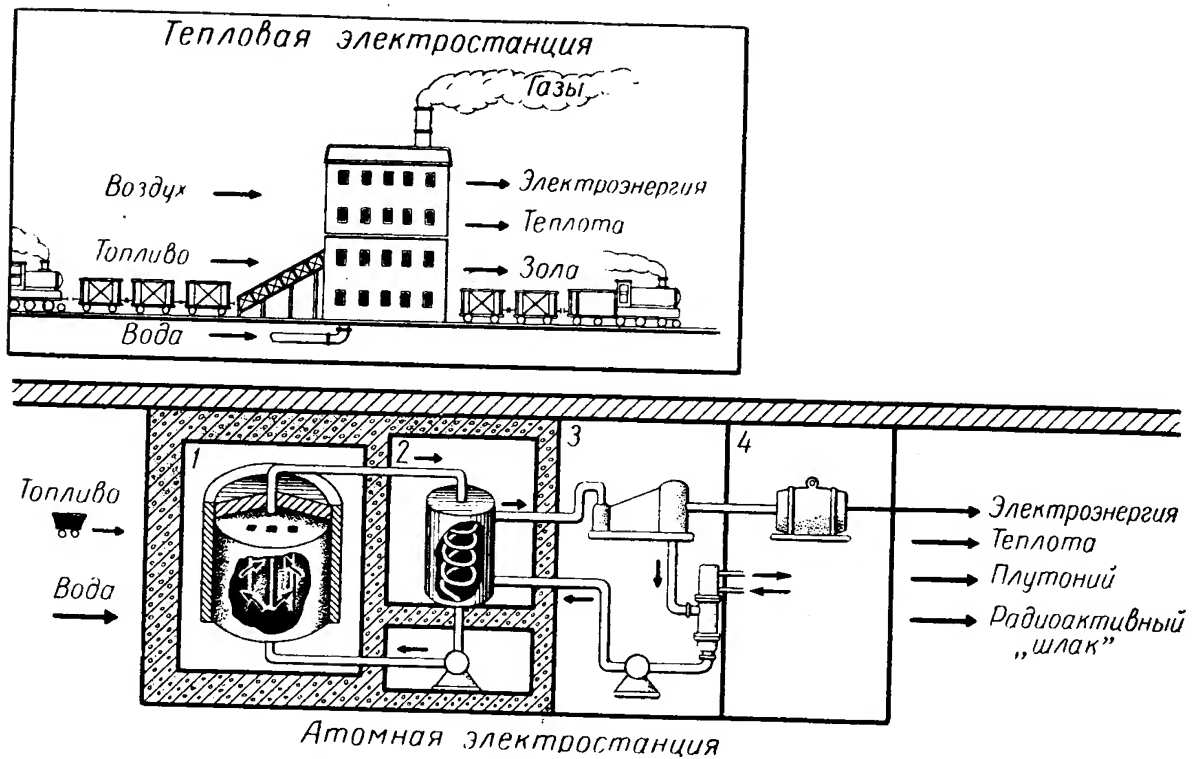
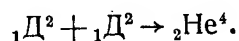


Рис. 30. Сравнение атомной и угольной электростанций.

В шестой пятилетке (1956—1960) согласно решениям XX съезда КПСС будут построены атомные электростанции общей мощностью в 2—2,5 млн. *квт*, что еще более удешевит электроэнергию.

ТЕРМОЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ

На странице 48—49 говорилось, что энергия, заключенная в ядрах атомов, может быть добыта не только путем деления ядер. Другой путь извлечения ядерной энергии заключается в осуществлении таких реакций, в которых ядерные частицы—протоны и нейтроны, соединяясь друг с другом, образовывали бы ядра с большей удельной энергией связи (напомним, что удельной энергией называется величина энергии связи, приходящаяся на одну частицу). Такие реакции называются реакциями синтеза. Если осуществить реакцию, в которой из легких ядер образовались бы более тяжелые, то это приведет к выделению энергии. Предположим, что произошло слияние двух ядер тяжелого водорода—дейтерия. Такая реакция приведет к образованию гелия согласно схеме:



Из двух легких ядер образовалось более массивное. Как было показано (см. стр. 49), при этом выделяется около 24 млн. электрон-вольт энергии.

Как же осуществить энергетически столь выгодную реакцию синтеза? Ведь ядра имеют одноименные всегда положительные заряды, и если они сблизятся, то электрические силы будут отталкивать их друг от друга. Очевидно, необходим способ, который позволил бы преодолеть эти силы отталкивания и насильно „слить“ ядра. Способ напрашивается сам собой: нужно сообщить ядрам такую кинетическую энергию, чтобы они при столкновении слились, преодолев силы отталкивания. Для этого существуют два пути.

Первый, наиболее простой, путь состоит в том, чтобы разгонять частицы в ускорителях и сталки-

вать их друг с другом. Такой путь требует мощных ускорителей. Они существуют в настоящее время. В мае 1957 г. в нашей стране пущен самый крупный в мире ускоритель, способный сообщить частицам энергию до 10 млрд. электрон-вольт. Такие установки имеют чисто исследовательские цели. Практическое использование реакций синтеза связано с другим путем — сообщения ядрами энергии, достаточной для преодоления электрических сил отталкивания.

Известно, что при нагревании любого вещества составляющие его атомы начинают двигаться со все возрастающими скоростями. Чем выше температура, тем больше скорость движения атомов. Следовательно, можно поднять температуру газа дейтерия до такой степени, что составляющие его ядра при столкновениях будут соединяться, образуя ядра гелия.

Какова же величина температуры, способная вызвать реакцию синтеза? Расчет показывает, что необходима температура порядка нескольких миллионов градусов. Ядерные реакции, происходящие при таких высоких температурах, носят название термоядерных реакций. Вначале был известен только один путь получения высоких температур: использование цепной реакции деления урана и плутония; последняя дает необходимую температуру в миллионы градусов. Этот путь был использован для осуществления термоядерной реакции в водородной бомбе. Атомная бомба послужила своеобразным запалом для водородной бомбы.

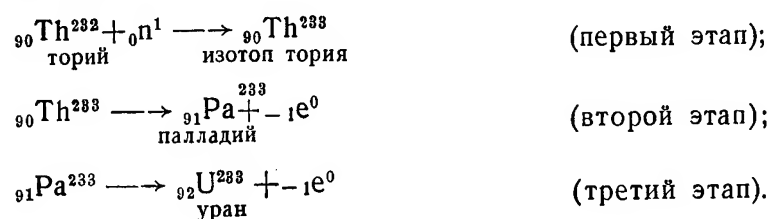
Естественно, возникла проблема управления термоядерной реакцией. В водородной бомбе в течение долей секунды выделяются колоссальные количества энергии. Если скорость выделения энергии уменьшить и суметь ее регулировать, то ядерное „топливо“ можно использовать для мирных целей.

Ученые положили первые пути к решению этой важнейшей проблемы.

СОВРЕМЕННОЕ ЯДЕРНОЕ ТОПЛИВО

В принципе ядерным топливом могут служить все химические элементы, ибо в ядрах всех атомов сосредоточен колоссальный запас энергии. Пока же

ядерным топливом являются те химические элементы, для которых уже найдены практические способы выделения ядерной энергии. К таким химическим элементам относятся изотопы тяжелого элемента урана (уран 235 и уран 233), тяжелый элемент плутоний и изотопы легкого элемента водорода—дейтерий и тритий. Доля изотопа урана 235 в природных рудах составляет, как известно, лишь 0,7%. Уран, 233 не встречается в природе. Этот изотоп урана может быть получен из тория, который встречается в природе гораздо чаще, чем природный уран (в три-четыре раза больше)². Практически уран 233 получают облучением ядер атомов тория нейтронами, идущими из специального отверстия ядерных реакторов. При этом происходит следующая ядерная реакция:



Плутоний получается в процессе работы ядерных реакторов из урана 238 путем поглощения нейтронов (по приведенной ранее нами реакции). Этот ценный элемент является одним из продуктов атомной промышленности (см. рис. 31).

Дейтерий (тяжелый водород) получают из обычной природной воды, в которой на долю дейтерия приходится лишь 0,02% (в одной тонне обычной природной воды имеется примерно 200 г тяжелой воды). Выделение в чистом виде тяжелой воды основано на различии физических свойств тяжелой и легкой воды. Известно, например, что молекулы воды можно разложить электрическим током на водород и кислород, которые выделяются из воды в виде

² Это и понятно, так как период полураспада тория равен 13,9 млрд. лет, тогда как период полураспада урана—4,5 млрд. лет, а урана—235—710 млн. лет.

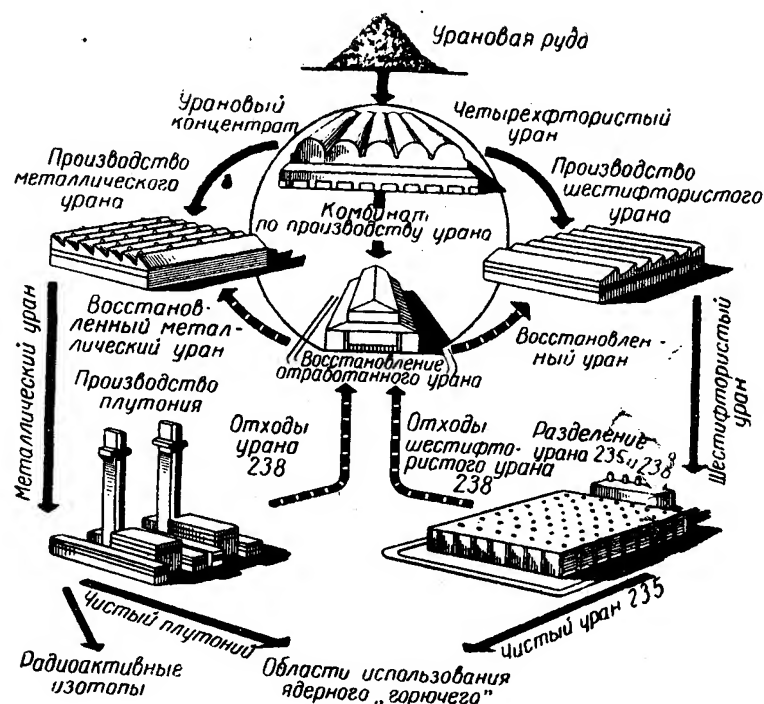
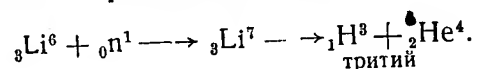


Рис. 31. Полный цикл атомной промышленности, заканчивающийся получением ядерного горючего и включающий процесс обогащения отработанного урана.

пузырьков газа. Если через природную воду пропустить электрический ток, то легкая вода разлагается электрическим током несколько быстрее, чем тяжелая. Этим путем можно получить из очень большого количества воды (при полном ее разложении) незначительное количество тяжелой воды, на что приходится израсходовать большое количество электроэнергии. Тяжелую воду можно получить и путем кипячения обычной воды, так как ее точка кипения не 100° как у обычной воды, а $101^{\circ},4$ ввиду чего происходит обогащение тяжелой водой. Точка замерзания тяжелой воды равна $3^{\circ},8$, а не 0° . В тяжелой воде не прорастают семена, не могут жить животные.

Искусственное же получение ядерного горючего трития (сверхтяжелого водорода) осуществляется путем бомбардировки ядер лития нейтронным пучком в отверстиях ядерных реакторов. Реакция превращения лития в тритий происходит следующим образом:



В этой реакции литий, поглотив нейтрон, превращается в тритий, излучая при этом α -частицу. Для получения урана 235 в чистом виде из природного урана применяются различные физические методы, так как изотопы урана обладают химически неразличимыми свойствами. Одним из методов его отделения является газовая диффузия, перегонка превращенного в пар природного урана через специальные камеры с пористыми перегородками. Ввиду различия масс изотопов урана 238 и 235 происходит просачивание большего количества урана 235. Этот физический метод позволяет просачиванием через камеру, например, 140 кг природного урана, получить лишь 1 кг урана 235¹. Отделение же плутония в чистом виде в ядерных реакторах (из его смеси с ураном) производится химическим путем, так как уран и плутоний — элементы с различными химическими свойствами.

Химически чистые изотопы урана — уран 235, уран 233 и плутоний — могут служить зарядом для атомных бомб, а смесь изотопов водорода — дейтерий и тритий — образует заряд для водородных бомб, о которых будет сказано позже. Как видно, получение в чистом виде изотопов урана и водорода в качестве взрывчатых веществ для создания атомного и водородного оружия связано с большими производственными затратами. В ядерных же реакторах, предназначенных для мирных целей, происходит постепенное выделение энергии. Ядерным горючим в реакторах является, как известно, естественный (неразделенный) уран с замедлителем.

¹ По данным иностранной литературы, за один цикл прохождения газа через перегородку последний обогащается молекулами урана 235 всего на 0,1%. Поэтому, пропуская газ через 1000 таких перегородок, можно получить практически чистый уран 235.

Для ядерных реакторов не требуется разделения изотопов. В случае необходимости увеличить мощность ядерных реакторов (и в зависимости от их конструкций) ядерное топливо обогащают изотопами урана 235 и 233 или плутонием. Выделение энергии ядрами тяжелых элементов урана и плутония связано, как известно, с делением их ядер. Выделение же ядерной энергии ядрами изотопов водорода связано, наоборот, с синтезом ядер гелия. Несомненно, что наука в будущем определит пути высвобождения ядерной энергии, сделав доступным для мирных целей водород и многие другие элементы.

В связи с тем что уран и торий являются ядерным горючим, способы обнаружения и освоения урановых и ториевых месторождений имеют сейчас важное значение. Советские ученые и инженеры обращают особое внимание на методы разведки с воздуха залежей руд, содержащих уран и торий. Специальные приборы, установленные на самолетах, позволяют обнаружить залежи подобных руд. Этот совершенный и быстрый метод разведки уже помог открыть несколько месторождений урана промышленной ценности.

О ПУТЯХ РАЗВИТИЯ ЯДЕРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Реактор атомной электростанции СССР представляет собой, как было сказано, уран-графитовую систему с водяным охлаждением. Этот реактор является наиболее совершенным действующим реактором. Однако путь, избранный при проектировании ядерного реактора атомной электростанции СССР, не является единственным.

Существуют разнообразные виды ядерных реакторов, которые могут быть разбиты на два класса: 1) реакторы на медленных нейтронах и 2) реакторы на быстрых нейтронах. В реакторах, работающих на медленных нейтронах, необходим замедлитель. В зависимости от взаимного расположения замедлителя и ядерного горючего—урана—реакторы на медленных нейтронах подразделяются в свою очередь на гетерогенные и гомогенные реакторы. В гетерогенных

реакторах уран распределен в виде блоков, расположенных на определенных расстояниях друг от друга в замедлителе.

В гомогенных реакторах уран равномерно растворен в замедлителе. Реакторы же на быстрых нейтронах не имеют замедлителей.

Гетерогенные реакторы. В зависимости от охлаждающих веществ (теплоносителей) гетерогенные реакторы могут быть следующего типа:

а) С водяным охлаждением. Реактор этого типа, как мы видели, имеет атомная электростанция СССР с графитовым замедлителем. Достоинством этого реактора является сравнительная простота его устройства и дешевизна теплоносителя.

Недостатком этого типа реактора является сравнительно низкая температура кипения воды, что приводит к невысоким значениям температуры (а следовательно, и давления) пара в турбогенераторе. Для повышения температуры парообразования приходится увеличить давление в первичном контуре, в котором циркулирует вода в качестве теплоносителя. Так, например, для получения пара с температурой 375° давление в первичном контуре должно быть 225 атм , что усложняет конструкцию реактора.

Несмотря на это, реакторы этого типа в настоящее время вполне эффективны для строительства атомных электростанций.

б) С газовым охлаждением. Если в реакторе заменить водяное охлаждение газовым (см. рис. 24), то можно избавиться от недостатков, имеющих место при водяном охлаждении.

Газовое охлаждение может быть осуществлено при любых значениях температуры. Недостатком газового охлаждения является то обстоятельство, что теплоемкость газа мала по сравнению с теплоемкостью воды. Для обеспечения высокого теплосъема с реактора требуются мощные газодувки (для прокачки большого количества газа через реактор).

в) С жидкометаллическим охлаждением. Если же в реакторе осуществить охлаждение жидкими металлами, то это совмещает достоинство газового и водяного охлаждения. Жидкие металлы имеют высокую точку кипения (по сравнению с водой)

и значительную теплоемкость (по сравнению с газами). Первое преимущество позволяет избегать создания высоких давлений в первичном контуре, необходимого при водяном охлаждении, а второе — избегать прокачки через реактор большого количества теплоносителя, необходимого при газовом охлаждении. Наиболее приемлемым из металлических теплоносителей является натрий. Незначительные давления (до 10 атм) натриевого теплоносителя в первичном контуре приводит к высоким значениям его температуры. Это дает возможность получить пар высокого давления для генератора. Коэффициент полезного действия такого реактора может достигнуть 30%. Увеличение размеров реактора указанного типа может привести к уменьшению обогащения ураном 235 до минимума (меньше 1%), что очень существенно для удешевления ядерного топлива. Ввиду этого уран-графитовые реакторы с натриевым охлаждением перспективны и, вероятно, экономичны.

Недостатком же натриевого охлаждения является значительная радиоактивность теплоносителя (период полураспада около 15 час.), что делает натриевый контур трудно доступным для обслуживания. Возникает также необходимость усложнения теплообменной аппаратуры, что связано с необходимостью предварительного разогрева натрия. Известно также, что натрий химически сильно взаимодействует с водой, что может привести к нежелательным результатам. Ввиду этого приходится предусмотреть в аппарате меры предосторожности с тем, чтобы не допустить контакта натрия с водой.

г) Реакторы, в которых обыкновенная вода служит замедлителем и теплоносителем. В таких реакторах, называемых водо-водяными, используются физические особенности воды быстро замедлять, а также и поглощать нейтроны. Это может приводить при определенной конструкции реактора к возрастанию коэффициента размножения нейтронов в процессе цепной реакции, что очень важно для ядерной энергетики. Такие реакторы могут быть использованы для большей выработки плутония путем некоторого увеличения так называе-

много резонансного захвата нейтронов ураном ^{238}U . Этот реактор достаточно экономичен и безопасен в работе. Но еще недостаточно изучен вопрос воздействия радиоактивного излучения на материал корпуса, несущего высокое давление.

д) Реактор, в котором замедлителем и теплоносителем служит тяжелая вода¹. Тяжелая вода хуже замедляет нейтроны, чем легкая, но зато она весьма слабо поглощает нейтроны. Это дает возможность создать ядерные реакторы повышенного качества. Такие реакторы могли бы работать на необогащенном естественном уране, если бы в нем удалось осуществить применение теплоносителя, который мало поглощает нейтроны.

Недостатком этого типа реактора является необходимость применения дорогостоящей тяжелой воды.

Гомогенные реакторы. В этих реакторах уран распределяется в замедлителе (в тяжелой воде) равномерно в виде раствора или порошка (рис. 32). Регули-

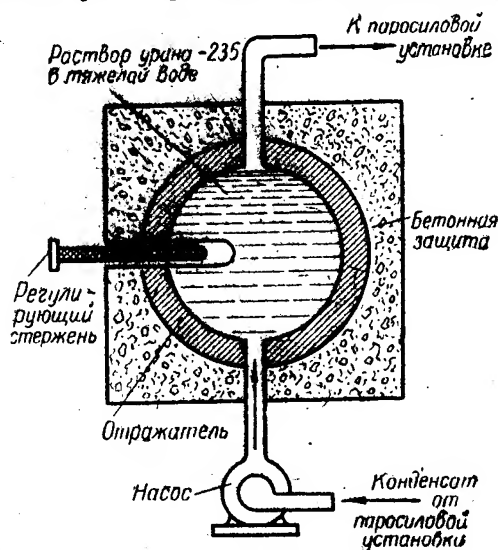


Рис. 32. Схема гомогенного реактора.

¹ В этом случае происходит циркуляция тяжелой воды в холодильнике и реакторе, где она замедляет нейтроны.

ровка котла осуществляется обычным путем (кадмиевыми стержнями). В отличие от вышеуказанных гетерогенных реакторов, где уран расположен в замедлителе блоками, гомогенные реакторы обладают большим резонансным захватом нейтронов ураном 238. Это может привести к ослаблению цепной реакции в активной зоне котла. С другой стороны, имеется возможность скомпенсировать это ослабление либо за счет удаления из активной зоны газа ксенона (отравляющего любой реактор, работающий на тепловых нейтронах), либо обогащением естественного урана изотопами урана 235 или урана 233 (в этом случае в реакторе может применяться и обычная вода). Химическая обработка делящегося вещества в таких реакторах упрощена. Гомогенные реакторы, по-видимому, найдут в будущем свое применение наряду с гетерогенными.

Реактор на быстрых нейтронах. В реакторах, работающих на быстрых нейтронах, отсутствует замедлитель. Поэтому активная зона, а следова-

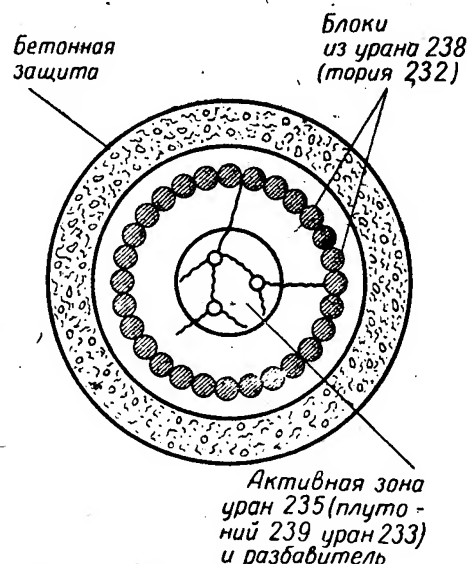
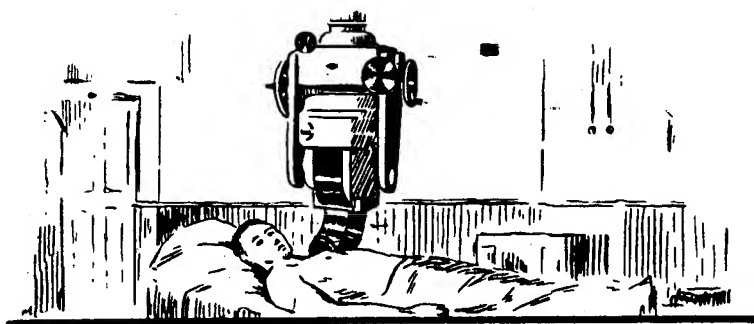


Рис. 33. Схема реактора, накапливающего ядерное топливо.

тельно, и общий объем такого реактора малы, что очень важно. В этих реакторах теплоносители должны быть такими, которые мало замедляют нейтроны. С этой целью полезно применить жидкие металлы. Такие же требования должны быть предъявлены и к отражателям нейтронов.

В реакторах, работающих на быстрых нейтронах, возможно частичное деление основного изотопа урана 238. Наряду с этим в реакторе получается плутоний (путем поглощения нейтронов ураном 238), причем количество получаемого плутония может превышать количество первоначально расщепляющегося урана 235 или плутония. Ценность таких реакторов заключается в том, что они одновременно являются источниками ядерной энергии и лучшими агрегатами для получения ядерного горючего — плутония. На рисунке 33 показана схема реактора, накапливающего ядерное топливо.

Реакторы на быстрых нейтронах дают возможность полного использования природных запасов урана в целом, а не только его изотопа 235 (что свойственно реакторам, работающим на медленных нейтронах). Поэтому перспективность реакторов, работающих на быстрых нейтронах, вполне очевидна. Такие реакторы, по-видимому, найдут в будущем широкое применение.



• РАДИОАКТИВНЫЕ ИЗОТОПЫ •

Радиоактивным изотопам свойственно излучение. Это излучение оказывает воздействие на специальные приборы (ионизационные камеры, газовые счетчики и фотопластинки). Радиоактивные изотопы различных химических элементов могут быть получены искусственным путем, при бомбардировке этих элементов α -лучами, ускоренными протонами, а также нейтронами.

Поскольку ядерный реактор является мощным источником нейтронов, то, поднося различные вещества в специальные отверстия, идущие из активной зоны реактора, мы можем получить изотопы в ощутимых для практических целей количествах.

В самих ядерных реакторах продукты деления урана, называемые иногда „шлаками“, являются разнообразными радиоактивными изотопами химических элементов.

Все эти изотопы играют неоценимую роль в различных областях науки и техники.

Ниже мы приведем некоторые основные, далеко не исчерпывающие примеры применения радиоактивных изотопов в науке и технике.

ПРИМЕНЕНИЕ РАДИОАКТИВНЫХ ИЗОТОПОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ

Радиоактивные изотопы широко применяются в производстве для контроля и автоматизации производственных процессов.

Известно значение прочности металлических отливок, деталей машин и различных сооружений. В ряде случаев в металлических изделиях образуются нарушающие прочность трещины и раковины, которые не могут быть обнаружены обычными способами. „Методы просвечивания“ деталей рентгеновскими лучами мало эффективны и дорогостоящи. Наиболее мощные и громоздкие рентгеновские установки создают лучи, которыми можно „просвечивать“ металл толщиной лишь не более 3-х сантиметров. Излучение же различных радиоактивных изотопов может с успехом заменить рентгеновское излучение для дефектоскопии металлических деталей. Например, у радиоактивного иридия энергия γ -лучей составляет 0,2—0,7 миллиона электрон-вольт. Такие лучи могут быть применены для „просвечивания“ металлического изделия толщиной до 3-х сантиметров; γ -лучи радиоактивного кобальта обладают энергией около 1,5 миллиона электрон-вольт; они могут быть применены для „облучения“ металлических изделий толщиной до 30 см.

Способ обнаружения дефектов в металлических изделиях путем их γ -облучения заключается в том, что кусочек радиоактивного вещества помещают с одной стороны детали, а с другой—фотопластинку, завернутую в черную бумагу (для защиты пластинок от солнечных лучей). γ -лучи, испускаемые радиоактивным веществом (см. рис. 34), пронизывают изделие и доходят до фотопластинки, на которой после проявления получается изображение детали с дефектом (если таковой имеется). Этот метод контроля под названием „ γ -дефектоскопии“ широко применяется в производстве.

С помощью радиоактивных изотопов можно осуществлять не только контроль, но и автоматизацию производственных процессов. Лучи, испускаемые атомами радиоактивного изотопа, создают в специ-

альных ионизационных камерах ионизационный ток, который усиливается усилителями и передается на автоматику. Например, в текстильной промышленности огромное значение имеет равномерное распределение краски по полотну. Для подобного рода контроля с успехом можно применять радиоактивные

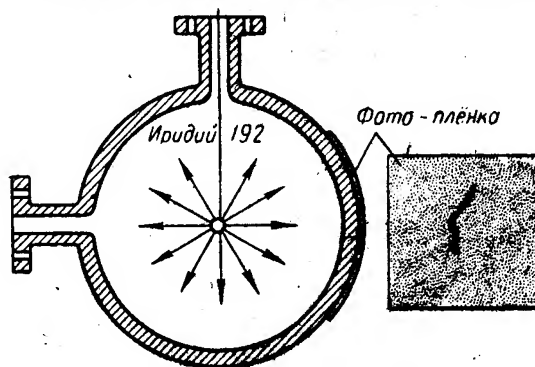


Рис. 34. Облучение детали с внутренней ее стороны с целью контроля.

изотопы. Делается это следующим образом. В краску примешивают радиоактивные атомы, которые в зависимости от толщины краски в большей или меньшей концентрации распределяются на полотне, движущемся под валиком. Толщина краски зависит от давления валика на полотно; давление это регулируется автоматически усилением или ослаблением ионизационного тока, создаваемого в газе камеры радиоактивными лучами атомов, входящих в состав краски. Такой же метод применяется и для автоматизации процесса проката металлов. Идея метода иллюстрируется рисунком 35.

На сессии Академии наук СССР по мирному использованию атомной энергии в июле 1955 года был рассмотрен ряд вопросов, связанных с применением радиоактивных изотопов в производстве. Таким является, например, вопрос изучения процессов перемещения металла в ваннах мартеновских печей с помощью радиоактивных изотопов, кобальта 60 или фосфора 32. Несколько граммов радиоактивного

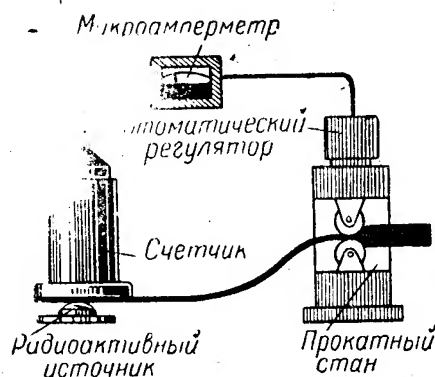


Рис. 35. Автоматическое регулирование толщины листового железа.

кобальта забрасывается в мартеновскую печь, залитую расплавленной сталью. С помощью счетчиков следят, за какое время радиоактивность станет равномерной во всех частях расплавленной стали. Для этого из расплава ванны отбирают пробы металла и измеряют их радиоактивность при помощи счетчика.

Этим методом было обнаружено, что для

равномерного распределения кобальта в расплавленной металлической ванне весом 350 тонн требуется всего лишь 45 минут. Введением радиоактивного фосфора в мартеновскую печь той же емкости было установлено, что фосфор равномерно распределяется в металле примерно через 60 минут. Мы видим, что между временем равномерного распределения кобальта и фосфора нет большой разницы, тогда как свойства кобальта и фосфора резко отличны друг от друга. Оказалось, что скорость распределения малой добавки в объеме жидкой стали зависит от условий перемешивания, а не от природы распределяющегося элемента. Условия же перемешивания определяются главным образом интенсивностью „кипячения“ металла, что согласуется с опытами, проводимыми в печах различной емкости.

Применение радиоактивного фосфора показало, что в 25-тонной ванне полное перемешивание металла завершается за 15 минут, в 180-тонной—за 45 минут, а в 370-тонной—за 55 минут после начала кипячения металла.

Радиоактивные изотопы приходят на помощь при изготовлении сплавов из металлических порошков. Известно, что качество сплавов зависит от степени однородности смеси порошков. Было установлено, что введение в смесь небольших количеств радиоак-

тивных изотопов в виде порошков дает возможность изучить процесс перемешивания порошков. В процессе перемешивания из различных мест смеси отбирают пробы и измеряют на радиоактивность с помощью счетчика. Процесс перемешивания порошка можно закончить, когда будет обнаружена одинаковая радиоактивность проб.

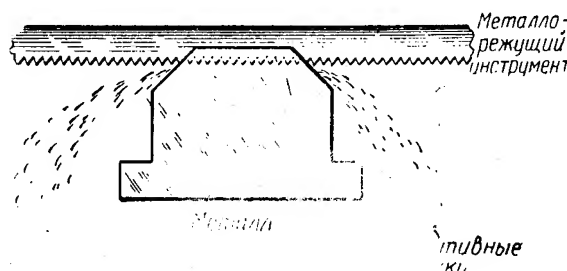


Рис. 36. По величине радиоактивности стружек можно определить степень износа режущих инструментов.

С помощью радиоактивных изотопов исследуется износ металлорежущих инструментов. Если последние обогащены атомами радиоактивных веществ, то по степени радиоактивности стружек при резании металлов можно судить и о степени износа режущих металл инструментов. Идея метода иллюстрируется рисунком 36. Было установлено, что если режущий инструмент охлаждать при работе, то он меньше изнашивается.

Интересно применение радиоактивных веществ для контроля уровня поднятия жидкости в закрытых сосудах. Сущность метода ясна из рисунка 37.

Известно, что на предметах из пластмассы и целлюлоида при трении возникают электрические заряды. В производстве, например, киноплёнок и бумаги часто бывают неприятности, связанные с тем, что при перематке кинолент и бумажных рулонов накопление заряда на них приводит к большим электрическим напряжениям, что может вызвать пожары. Радиоактивные изотопы, излучающие α лучи, полностью устраняют эти опасности. Примешивая к указанным материалам радио-

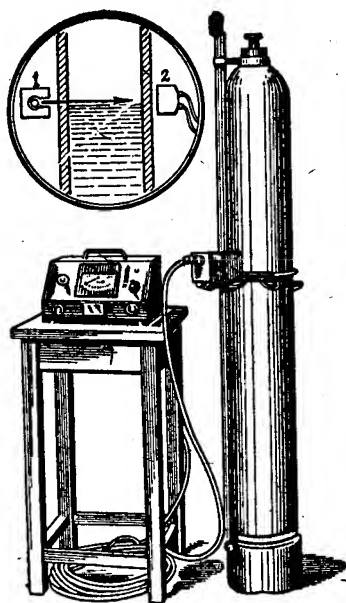


Рис. 37. Контроль уровня жидкости в закрытых сосудах при помощи радиоактивного уровня:

Источник γ -лучей (1) и счетчик (2) закреплены в противоположных сторонах баллона и могут передвигаться вверх и вниз, определяя уровень жидкости по прекращению учащенного счета (поглощение γ -лучей жидкостью при переходе источником уровня жидкости).

активные вещества, вызывают ионизацию воздуха, окружающего рулоны или киноленты. Это способствует нейтрализации электрических зарядов, накапливаемых на бумажных рулонах и кинолентах при их перематке. Таким путем оказалось возможным увеличить скорость перематки лент, чего нельзя было сделать раньше из-за сильного накопления на них электрических зарядов, и повысить качество бумаги и пленки.

Точно так же обстоит дело и в производстве шелковой и шерстяной пряжи. Скопление электрических зарядов при прядении этих изделий приводит к разрушению волокна, вызывает обрывание нити. Устанавливая на прядильной машине препарат с радиоактивным изотопом, можно ионизовать окружающий воздух и тем самым избавиться от скопления зарядов на шелковой и шерстяной пряже, ускорить процесс прядения и повысить качество изделий.

Борьба с электрическими зарядами приобретает важное значение при печатании на ротационных машинах в типографиях, а также в процессе окраски машин и станков нитролаками. На распыленных частичках часто скапливаются электрические заряды до такой степени, что вызывают вспышки и пожары. В качестве средства, устраняющего заряды в указанных выше случаях, обычно применяют изотопы, излучающие α -лучи; последние обладают большой иони-

зующей способностью окружающего воздуха. Такой источник, поставленный на станке, безопасен для людей, так как α -частицы проникают в воздух лишь на расстоянии 4—5 см, полностью растрчивая на этом пути свою энергию на ионизации атомов воздуха. Источником α -излучения, применяемым для этих целей, является, например, изотоп полония 210, применение которого предложено лабораторией техники безопасности Московского института химического машиностроения.

ПРИМЕНЕНИЕ РАДИОАКТИВНЫХ ИЗОТОПОВ В АГРОБИОЛОГИИ

Мы уже знаем, что изотопы данного элемента имеют одинаковые химические свойства. Например, фосфор 31 и фосфор 30 являются равноправными в отношении химических свойств. Обмен веществ в растительных организмах связан с химическими процессами. Следовательно, атомы радиоактивных изотопов также участвуют в обмене веществ, как и нерадиоактивные атомы. Так как атомы радиоактивного вещества излучают, то они могут быть обнаружены соответствующими приборами. Это позволяет нам следить за движением и местом скопления радиоактивных атомов в веществе. Поэтому их называют „мечеными“ атомами. Метод „меченых“ атомов широко применяется в агробиологии.

Процесс усвоения растением углекислого газа под действием солнечных лучей в агробиологии называется фотосинтезом. В науке длительное время существовало ошибочное представление о механизме фотосинтеза, об этапах реакции фотосинтеза. Применяя методы „меченых“ атомов, агробиология могла изучить механизм фотосинтеза. Этот процесс заключается в том, что зеленые растения поглощают из воздуха углекислый газ и при помощи солнечных лучей синтезируют из углекислого газа и воды органические вещества, которые служат пищей для любых живых организмов. Растения при этом процессе выделяют свободный кислород. Фотосинтез является основой сельскохозяйственного производства, так как продукция растениеводства на 90% состоит из

органических веществ, которые образуются в процессе фотосинтеза. Фотосинтез является таким процессом, при помощи которого происходит превращение солнечной энергии в энергию растительных тканей.

Уголь, нефть, торф, горючие газы хранят эту преобразованную энергию Солнца до тех пор, пока мы их не сжигаем. Тепловая энергия, получаемая человеком с пищей, представляет собой трансформированную (преобразованную в процессе фотосинтеза) энергию солнечной радиации. Отсюда ясно, какое громадное значение имеет изучение механизма фотосинтеза при помощи „меченых“ атомов.

Например, в жизни растений необходим фосфор, извлекаемый растением из почвы из солей фосфатов. Как узнать, в каких частях растения сосредоточивается фосфор, обязательно ли питать растение фосфором через корни?

Эти вопросы можно разрешить при помощи введения в фосфаты „меченых“ атомов радиоактивного фосфора: после того как растение напиталось этими атомами, его вырывают и кладут на фотопластинку, защищенную от солнечных лучей. После проявления на пластинке появляется изображение растения под действием радиоактивного излучения „меченых“ атомов. Там, где имеется большее скопление фосфора, получаются более светлые места. Этим методом установлено, что фосфор преимущественно сосредоточивается в корнях и в стебле растения.

Питая растения изотопом фосфора, в котором содержатся „меченые“ атомы, ученые установили, что фосфор усваивается растением не только через корни, но и через листья. Обнаружена также новая функция корневой системы, которая заключается в поглощении корнями углекислоты из почвы и в передаче ее в листья и другие зеленые части растения. Таким образом, при помощи „меченых“ атомов можно изучить процесс корневого и некорневого питания растений тем или другим питательным веществом. Это помогает агробиологам научно разработать пути повышения урожайности. В частности, было установлено, что подкормка фосфором через листья увеличивает урожай хлопчатника, сахарной свеклы и кар-

тофеля. Кроме того, оказалось, что некорневая подкормка азотистыми солями повышает урожайность овощей.

Методом „меченых“ атомов установлено, что сахар, поступающий из листьев в корни, в отсутствие фосфора не испытывает необходимых превращений и возвращается обратно в листья в неиспользованном состоянии. Значительно быстрее, чем думали раньше, совершается и передвижение веществ в растениях. Например, нисходящий ток питательных веществ из листьев в корень или в плоды совершается со скоростью 0,7—1,5 м в час, благодаря чему продукты ассимиляции у большинства сельскохозяйственных растений через 30—60 минут достигают точек роста и органов запасных отложений. Еще быстрее движутся вещества вверх по растению (со скоростью 2—4 м в час). Вода же, особенно у некоторых древесных растений, как показали опыты с радиоактивным фосфором и йодом, проходит по древесине расстояния до 14 м в час. Все это дает указание работникам сельского хозяйства, как вести уход за растениями, за темпом их роста, как лучше всего вводить удобрения.

Влияние радиоактивного облучения на рост растений наглядно иллюстрируется рисунком 38.

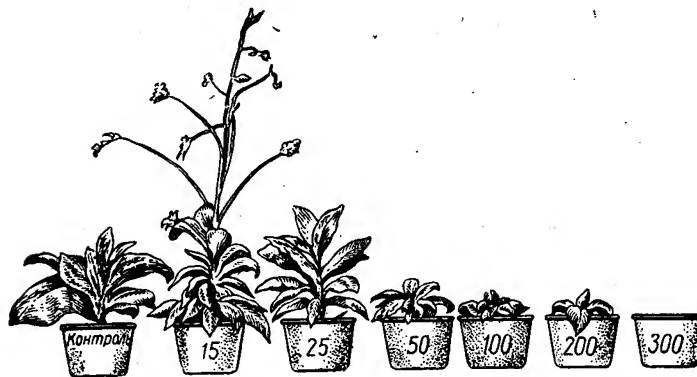


Рис. 38. Влияние на развитие табака различных доз ионизирующей радиации при длительном облучении растущих растений. Дозы облучения в рентгенах показаны цифрами.

Радиоактивные изотопы применяются не только для исследования процессов, происходящих в растениях, но и для сохранения пищевых качеств и свежести продуктов сельского хозяйства. Опыты показали, что если облучать в течение определенного промежутка времени γ -лучами мясо, рыбу, консервы, молочные продукты, то они стерилизуются, срок их хранения увеличивается, лучше сохраняются их пищевые качества. На рыбозаводах, как известно, выращивают мальки для выпуска их в водоемы и реки. При этом представляет большой интерес, какое количество мальков дошло до морей. Такой контроль осуществляется применением „меченых“ атомов. Перед выпуском в водоемы мальков их некоторое время держат в воде с радиоактивным фосфором, который, проникая в их организм, откладывается в костях, чешуе и плавниках. От таких мальков распространяется радиоактивное излучение, причем оно сохраняется в течение долгого времени роста. По количеству выловленной в море радиоактивной рыбы можно определить, сколько мальков, выращенных заводом, дошло из рек-водоемов до моря.

ПРИМЕНЕНИЕ «МЕЧЕНЫХ» АТОМОВ В МЕДИЦИНЕ

В медицине широко пользуются „мечеными“ атомами как для диагностики болезни, так и для ее лечения. При помощи „меченых“ атомов изучают обмен веществ в организме, обнаруживают местонахождение опухолей и ищут новые методы лечения. Эти применения обусловлены возможностью следить за местонахождением „меченых“ атомов при помощи счетчиков, регистрирующих испускаемое ими радиоактивное излучение.

Известно, что в пище, которой пользуется человек, содержится различное количество йода, фосфора, натрия, железа и т. д.

Огромный интерес для медицины представляет вопрос о том, как происходит обмен этих веществ в различных органах живого организма, одинаково ли органы воспринимают различные питательные соки, как обстоит дело с обменом веществ при нарушении функциональной деятельности органов и их

болезни. Все эти вопросы были разрешены при помощи „меченых“ атомов, вводимых тем или иным методом в организм человека. Этим методом ученым удалось установить, что фосфор, например, преимущественно накапливается в костных и мышечных тканях, в печени и в мозгу, а йод—в щитовидной железе, железо—в крови и т. д.

Методом „меченых“ атомов установлено, что больной организм активнее поглощает вещество, необходимое для него. Опыт показал, что ткани злокачественной опухоли отличаются от нормальной интенсивностью роста, а следовательно, повышенным процессом обмена веществ. Например, ткани опухоли щитовидной железы поглощают больше йода, чем ткани нормальной щитовидной железы. Практически это проверяется следующим образом. Пациенту дается выпить небольшое количество йодистого калия, к которому добавлена незначительная доза радиоактивного йода. Такая малая доза йода, состоящая из „меченых“ атомов, не оказывает вредных воздействий на здоровые клетки организма, так как интенсивность их радиоактивного излучения гораздо ниже допустимой по медицинским нормам. „Меченые“ атомы радиоактивного йода (так же как и обычные атомы йода), скапливаясь в опухоли, концентрируют свое излучение в области опухоли, что способствует разрушению ее клеток и приводит к излечению больного. Подобное локальное воздействие „мечеными“ атомами может быть осуществлено и на клетке рака непосредственным введением препарата с „мечеными“ атомами в опухоль при помощи шприца.

В медицине широко пользуются радиоактивным фосфором при диагностике и лечении злокачественных форм заболевания крови, опухоли печени и других внутренних органов, заболеваний кожи и особенно ангиомы у детей. При помощи счетчика легко проследить, где скапливаются радиоактивные атомы после введения их в организм. Вводя в организм больного радиоактивные атомы йода, можно проверить счетчиком состояние больного, страдающего болезнью щитовидной железы. Если, например, при поднесении к горлу счетчик обнаруживает ненормально большое радиоактивное излучение у



Рис. 39. Терапевтическая γ -установка с зарядом радиоактивного кобальта, равным 400 Кюри (для лечения опухолей на любой глубине залегания).

больного, принявшего препарат с радиоактивным йодом, то это укажет наличие злокачественной опухоли в щитовидной железе. Давая больному выпить хлористый натрий (столовую соль), в состав которого добавлен радиоактивный натрий, можно также проследить при помощи счетчиков за движением в крови хлористого натрия, за его уходом в почки и выделением из организма.

Этим методом установлено; что через трое суток около половины всех атомов натрия, входящего в состав выпитой соли, выделяется из организма; йод

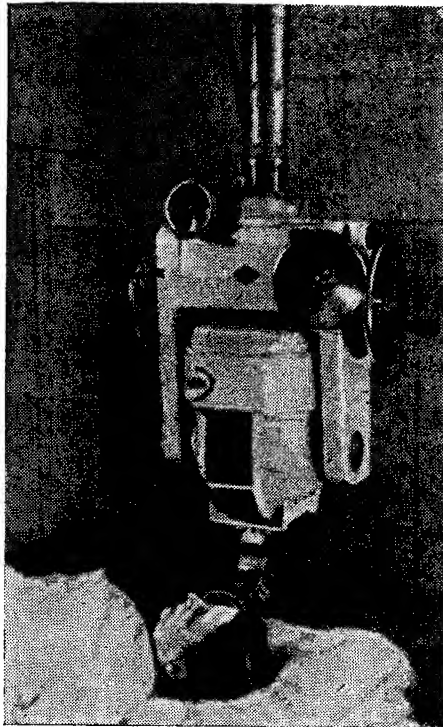


Рис. 40. γ -установка с небольшим зарядом радиоактивного кобальта (для лечения опухолей на глубине 5—6 сантиметров).

выходит из организма еще быстрее, а фосфор задерживается в организме значительно дольше (в костных тканях все процессы обмена веществ медленнее, чем в печени, легких, почках и мускулах, хотя до костей фосфор и добирается быстро). Через 3 минуты после введения фосфора в кровь животного $\frac{4}{5}$ „меченых“ атомов фосфора исчезают из крови, а через полчаса эти атомы обнаруживаются в составе костей.

Лечение методом радиоактивных „меченых“ атомов в нашей стране принимает широкие размеры и имеет огромное будущее.

Борьба с раковой опухолью велась раньше при помощи рентгеновских лучей или лучей радия. Рентгеновские установки громоздки и менее эффективны для облучения глубоких опухолей, а радий — элемент очень редкий; поэтому указанные методы лечения не могли получить широкого применения.

В настоящее время советская медицина с успехом применяет для лечения злокачественных опухолей (особенно для рака кожи) радиоактивный кобальт. Изготовлен, например, новый отечественный аппарат „ГУТ—400“ (γ-установка терапевтическая, содержащая 400 г радиоактивного вещества). Процессы лечения больных злокачественной опухолью при помощи γ-установок показаны на рисунках 39 и 40.

«МЕЧЕННЫЕ» АТОМЫ В ГЕОЛОГИИ И ХИМИИ

Космические лучи (см. последнюю главу), проходя через атмосферу, вызывают разрушения атомных ядер воздуха, в результате чего из ядер освобождаются протоны и нейтроны. Свободные нейтроны взаимодействуют с ядрами атомов азота, что приводит к образованию радиоактивного углерода с периодом полураспада 6 тыс. лет. Так как интенсивность космических лучей практически постоянна, то процесс образования свободных нейтронов, а следовательно, и радиоактивного углерода в атмосфере можно считать постоянным. Радиоактивный углерод, соединяясь с кислородом воздуха, образует в атмосфере углекислый газ, который, как мы знаем, поглощается растением. Известно, что углекислый газ в зеленых листьях разлагается на составляющие его атомы кислорода и углерода. Кислород выделяется в воздух, а углерод идет на образование органических соединений (углеводов). Содержащийся в углеводах растений радиоактивный углерод попадает с пищей в организм человека и животных. При жизни растений распадающиеся атомы радиоактивного углерода постоянно пополняются за счет поглощаемого им углекислого газа из атмосферы. У животных же это пополнение идет за счет растений, потребляемых ими. При гибели животных и растений пре-

крашается пополнение распадающегося в них радиоактивного углерода. Число радиоактивных атомов в отживших животных и растениях уменьшается в строгом соответствии с законом радиоактивного распада. Как мы указали выше, период полураспада радиоактивного углерода равен 6 тыс. лет. Это значит, что через 6 тыс. лет в отжившем растении радиоактивный углерод уменьшается вдвое, через 12 тыс. лет вчетверо, а через 18 тыс. лет в восемь раз и т. д. На каждый грамм углерода в органических соединениях приходится 50 млрд. атомов радиоактивного углерода (независимо от места его роста). В погибшем растении ежеминутно распадается 10 атомов из этого количества атомов. По оставшемуся в отживших растениях количеству радиоуглерода можно определить период, к которому относятся эти растения (древесина, торф и т. д.), и определить период постройки древних поселений. Этим методом был определен, например, возраст поселений, найденных при раскопках на строительстве Волго-Донского канала; следовательно, радиоактивные „меченые“ атомы углерода являются как бы часами, при помощи которых археологи определяют время гибели животного или растения.

„Мечеными“ радиоактивными атомами ученые пользуются также и для определения возраста Земли или горных пород. Известно, что уран, торий и радий через ряд промежуточных этапов превращаются в конечном счете в свинец и гелий. Поэтому урановая или ториевая руда должна содержать свинец.

Точные расчеты показывают, что через 100 млн. лет из 1 кг урана образуется 13 г свинца и 2 г гелия. Через 2000 млн. лет из килограмма урана возникнет 255 г свинца и 35 г гелия; зная период полураспада, легко подсчитать, когда весь уран превратится в свинец и гелий.

Следовательно, определяя количество свинца в любом куске урановой руды, мы можем вычислить возраст породы, где находится урановая руда.

Определенный этим методом возраст земной коры равен примерно 2,5 млрд. лет.

Химики широко пользуются тем, что „меченые“ атомы вещества обладают теми же химическими

свойствами, что и обычные атомы этого же вещества.

Они при помощи „меченых“ атомов могут расшифровать многочисленные реакции, определить местоположение атомов в молекуле, производить химический анализ веществ. В свое время Д. И. Менделеев предполагал, что атомы, входящие в состав одинаковых молекул, могут меняться местами. Проверить это допущение в то время не имелось возможности, так как различать одинаковые молекулы химии тогда не могли. В настоящее время при помощи „меченых“ атомов натрия и хлора установлено, что предположение Менделеева было справедливым. Атомы действительно перекачиваются из одной молекулы вещества в другую молекулу того же вещества.

До недавнего времени считалось, что молекула фосфорных солей поднимается к листьям растений с током воды. В настоящее время установлено, что атомы фосфора перекачиваются из одной молекулы в другую молекулу (того же типа) растений.

Мы уже знаем, что определение возраста Земли сводится к нахождению точного содержания свинца в урановых рудах. Химический путь отделения свинца от других веществ, содержащихся в урановой руде, производится выделением его из раствора в осадок при помощи, например, серной кислоты. Для точности расчета важно знать, какое количество свинца остается не осажженным в урановой руде. Эту задачу химии решают с помощью „меченых“ атомов изотопа свинца—радия D, добавляя незначительное его количество к осаждаемому свинцу.

Определив, какая доля радия D переходит в осадок и какая доля остается в растворе, химии выясняют долю остающегося в растворе свинца, что дает возможность наиболее точно определить возраст пород, содержащих урановую руду, а следовательно, и возраст нашей планеты.

Радиоактивные лучи с большим успехом применяются для ускорения химических реакций. Приготовление пластмассы, например, связано с химическими реакциями объединения менее сложных химических молекул в более сложные молекулярные

цепочки (полимеризация). Этот процесс осуществляется при очень высоких температурах и требует катализаторов.

Опыты показали, что радиоактивными излучениями можно заменить катализаторы. При этом можно получить помимо известных пластмасс новые, с новыми свойствами. Если же облучить готовые пластмассы, то в них происходит изменение физических и химических свойств. В одних пластмассах происходит „сшивание“ молекулярных цепочек (полимеров), а в других, наоборот, нарушаются связи. Этими свойствами можно воспользоваться для получения нужных пластмасс.

Разнообразное применение находят „меченые“ атомы в биохимии для изучения химических процессов в организмах. Химические процессы в организме очень сложны. Биохимики, зная начальные и конечные продукты реакции, ставят перед собой задачу определить, через какие ступени идет реакция и каковы ее промежуточные продукты. На помощь биохимикам в разрешении этой сложной проблемы идут „меченые“ атомы. Например, вводя в состав молекул сахара радиоактивный углерод (C^{14}), можно выявить длинную цепь промежуточных реакций, протекающих до конечного превращения молекулы сахара в молекулы углекислого газа и спирта. При спиртовом брожении из одной молекулы сахара получаются две молекулы углекислого газа и две молекулы этилового спирта. Это превращение насчитывает около двадцати промежуточных звеньев.

При помощи „меченых“ атомов биологи и биохимики изучают обмен веществ в живых организмах, роль ферментов в клетках. Раньше предполагалось, что ферменты, содержащиеся в клетках, не участвуют в жизни клетки и что клетки неизменны по составу. Вещество живой клетки, как известно, построено из атомов водорода, углерода и азота. Радиоактивные изотопы („меченые“ атомы) этих элементов могут быть получены искусственно. Вводя в организм с пищей эти „меченые“ атомы, можно следить, как они ведут себя в организме, каков их обмен. Этим путем было установлено, что неизменность содержания элементов (например, натрия) в тканях организма есть

результат равенства скоростей процесса усвоения этих элементов и их выбрасывания. Происходит обмен элементов, введенных с пищей в организм с элементами, содержащимися ранее в клетках. Для натрия, например, этот обмен происходит с большой скоростью (в белках крови он заканчивается через четыре, в мышечных тканях—в течение десяти суток). Свойством непрерывного обновления обладают не только белковые вещества, но и жиры и костные ткани. Опыты, проведенные с радиоактивным фосфором, дают возможность установить время полного его обновления в костных тканях.

Радиоактивные „меченые“ атомы углерода, серы и фосфора применяются, например, для изучения высшей нервной деятельности животных. С помощью радиоактивного элемента железа (Fe^{59}), подмешанного к пище, ученые изучают время жизни красных кровяных шариков. Оказалось, что после гибели красных кровяных шариков усваиваемое железо не выбрасывается из организма, а идет на образование новых красных кровяных шариков.

Приведенные выше далеко не исчерпывающие примеры применения „меченых“ атомов имеют небольшую давность; а между тем, можно уже говорить о новой эпохе в науке и технике. Поэтому есть полное основание думать, что в будущем наука и техника при помощи „меченых“ атомов достигнет еще больших успехов.

О НЕКОТОРЫХ ПЕРСПЕКТИВАХ РАЗВИТИЯ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Перспективы развития ядерной энергетики непосредственно вытекают из особенностей ядерного топлива и соответствующего роста техники. Особенности атомного топлива определяются тем, что:

1. Ядерное топливо может „гореть“ без кислорода, даже в герметически закрытых сосудах, куда не проникает воздух. Химическое же топливо требует для своего горения наличия воздуха. Следовательно, ядерные энергетические (или силовые) установки способны работать и в безвоздушной среде. Это открывает широкие возможности межпланет-

ных путешествий и подводных плаваний, где нет воздуха.

2. Горение ядерного топлива есть процесс бездымный, тогда как горение химического топлива неизбежно сопровождается дымом. Ввиду этого производство и транспорт, где будет применена атомная энергия, избавится от дыма и дымоотводящих труб.

3. В ядерных реакторах расход одного вида горючего (урана 235) может восполняться выработкой другого вида „горючего“—плутония, об использовании которого мы уже говорили.

4. При работе ядерных реакторов вместо золы образующейся при горении химического топлива, выделяются чрезвычайно ценные радиоактивные изотопы—продукты деления ядер урана 235; эти изотопы, выделяющиеся в виде „шлаков“, играют, как известно, неоценимую роль во всех областях науки и техники.

5. Ядерный реактор является мощным источником нейтронного излучения, при помощи которого в его специальных отверстиях мы можем получить любые искусственно-радиоактивные элементы и в том числе уран 233 и тритий. Таким образом, ядерный реактор, будучи источником ядерной энергии, одновременно служит агрегатом производства плутония, искусственно-радиоактивных элементов, урана 233 и трития.

6. Высокая концентрация энергии в ядрах атомов вещества приводит к тому, что ядерное топливо по сравнению с химическим топливом мало объемно. Например, 1 кг урана может заменить 1800 т бензина или 2500 т каменного угля. Поэтому ядерные реакторы могут работать длительно на сравнительно малом количестве топлива.

Возникает законный вопрос: почему же в таком случае мы не применяем ядерные реакторы в качестве двигателей на всех видах транспортных средств, в двигателях производственного типа и т. д.

Главным недостатком в деле массового применения ядерных реакторов в качестве двигателей является необходимость устройства громоздкой защитной оболочки из бетона сравнительно большой толщины. На каждый кубический метр полезного объема реактора требуется более 40 т защитного бетона. Есте-

ственно, что разрешение проблемы защиты, использование менее массивных слоев-защиты безусловно приведет к массовому применению ядерных реакторов в качестве двигателей. Если же иметь в виду не только вес самого атомного двигателя с защитной оболочкой, а вес двигателя вместе с запасом топлива, то при дальних полетах самолет с атомным двигателем выгоднее обычного самолета. Точно так же обстоит дело при дальних плаваниях морских кораблей, при дальних рейсах поездов и при полетах космических кораблей. В этом случае суммарный вес атомного двигателя (вместе с защитной оболочкой и топливом) гораздо меньше суммарного веса обычного двигателя с химическим топливом. Например, энергия 1 кг урана (при его полном расщеплении) достаточна для безостановочного продвижения поезда вокруг земного шара (расстояние около 40 тыс. км), а энергия синтеза 1 кг гелия была бы достаточна для перекрытия расстояния от Земли до Луны. Для этого же потребовалось бы колоссальное количество обычного топлива.

Ввиду чрезвычайной концентрированности атомного топлива самолет может держаться в воздухе сутками, совершать неоднократные рейсы вокруг земного шара и все это с максимальной скоростью на максимальной высоте полета. Морские корабли без захода в порты для заправки горючим могут совершить также длительные путешествия по океанам при любых ледовых условиях, так как часть атомной энергии может быть использована для расплавления льда под носом плавающего корабля. Подводные лодки могут длительно плавать под водой и под льдами Арктики и Антарктики.

На больших океанских кораблях, по-видимому, быстрее чем на других видах транспорта будут установлены атомные двигатели, так как для таких кораблей не страшен большой вес атомного двигателя (с защитой), тем более, что общий вес двигателя с обычным топливом для таких кораблей гораздо больше, чем общий вес двигателя с атомным топливом.

Образцом таких кораблей явится наш советский ледокол с атомным двигателем, который уже спущен

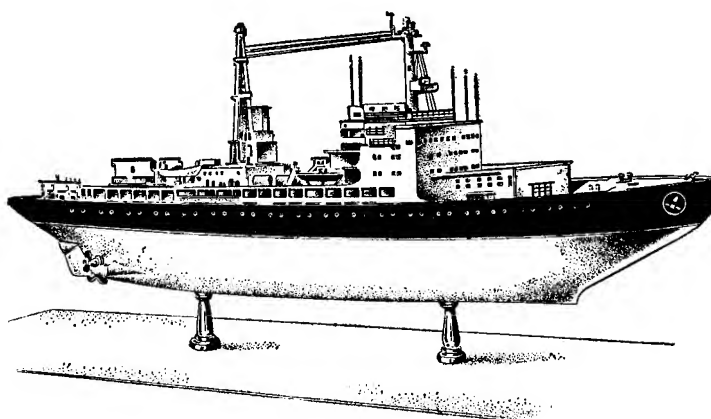


Рис. 41. Ледокол с атомным двигателем (модель).

на воду. Модель корабля изображена на рисунке 41. Ледокол этот предназначен для работ в северных арктических морях. Водоизмещение этого первого советского атомного корабля 16 тыс. *т*, мощность 44 тыс. *л. с.* Запас „горючего“—урана—позволит кораблю не заходить в порты в течение года (суточный расход урана несколько граммов). Управление кораблем осуществляется дистанционно при помощи автоматики и телемеханики. На нем кочегары заменены операторами, работающими у пульта управления. Для ледовой разведки на борту корабля будут находиться два вертолета.

Многое обещает установка атомного двигателя на подводных лодках, первые образцы которых уже построены. Первая подводная лодка имеет водоизмещение 1500 *т*; ее обслуживает команда в 150 человек; скорость несколько десятков километров в час. Обычные подводные лодки работают на двигателях двух родов: электромоторах (для подводного плавания) и двигателях внутреннего сгорания—дизелях (для плавания над водой). Электромоторы работают на аккумуляторных батареях. Для пополнения запасов кислорода и перезарядки аккумуляторов подводные лодки часто вынуждены всплывать на поверхность воды. При использовании атомного двигателя эти трудности устраняются, так как атомное горючее,

как было сказано, чрезвычайно экономично и не нуждается для своего горения в кислороде, а для команды требуется сравнительно небольшой запас кислорода.

Мы знаем, что современные реактивные самолеты, работающие на обычном химическом топливе, имеют сверхзвуковую скорость, но радиус действия их ограничен, так как для обеспечения длительных полетов на большие расстояния требуется слишком большой запас горючего, что утяжеляет самолет и уменьшает его скорость. Ввиду этих причин авиаконструкторы стремятся использовать на самолетах атомные двигатели. На этой основе в настоящее время разработаны в основном конструкции самолетов, приведенные на рисунке 42.

1. Конструкция самолета-снаряда, в которой камера сгорания заменена ядерным реактором. Рабочим

веществом в подобной ракете (рис. 42, а) может служить, например, жидкий водород (газ, охлажденный сжатием до -253°C). Проходя реактор при помощи насоса жидкий водород превращается в газ, имеющий более высокую температуру, чем у продуктов обычного горения. Поэтому скорость, а следовательно, и отдача, выходящих из ракеты газов значительно больше, чем скорость газов, возникающих при обычном горении. Такой снаряд или ракета может иметь огромный радиус действия и вырваться в мировое пространство, преодо-

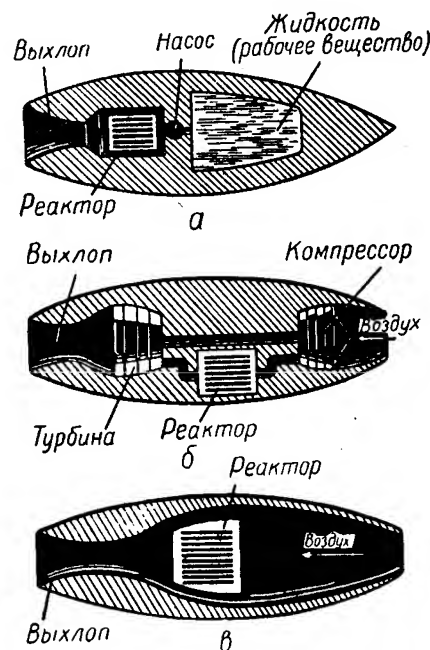


Рис. 42. Проекты самолетов с атомными двигателями.

лев земное притяжение. При этом проект такой ракеты предусматривает устройство турбореактивных двигателей, прикрепляемых к крыльям, и прямоточных двигателей, располагаемых в крыльях. Первые устройства предназначены для отрыва ракеты от поверхности Земли, а вторые для набирания ракетой высоты нескольких десятков километров. После использования эти устройства сбрасываются, и ракета начинает работать на жидкостно-реактивном двигателе. При достижении Луны из ракеты можно опускать специальную лунную ракету с танкеткой.

2. Конструкция турбореактивного самолета. В этом самолете атмосферный воздух прогоняется через реактор с помощью компрессора. Нагретый в реакторе воздух, уходя из сопла, оказывает большое давление на самолет, в силу чего самолет движется с большой скоростью в сторону, противоположную выходу газа (рис. 42,б).

3. Конструкция прямоточного воздушно-реактивного самолета, всасывающего (при помощи диффузора) в полете воздух, который, проходя камеру ядерного реактора, нагревается до очень высокой температуры. Этот воздух, имея большое давление, с большой скоростью выбрасывается из сопла, расположенного на хвосте самолета. Уходящий газ оказывает давление на самолет, благодаря чему самолет летит со сверхзвуковой скоростью в сторону, противоположную выходу газа (рис. 42,в).

В настоящее время наука достигла такого состояния, когда реальна посылка стратоплана на Луну. Создание искусственных спутников Земли приближает решение проблемы межпланетных путешествий; они дадут возможность широкого научного исследования космических пространств. Недалеко то время, когда мы будем очевидцами осуществленных межпланетных полетов.

Главной проблемой межпланетного путешествия оставалась долгое время проблема горючего; расчеты показали, что нельзя построить ракету с грузоподъемностью, необходимой для обычного топлива, так как запасы его должны быть слишком велики. Достаточно подчеркнуть, что для преодоления силы земного притяжения ракета должна приобрести скорость

не менее 11 200 м в секунду. При этом 96% общего веса ракеты составляет горючее. Таким образом налицо противоречие между техническими требованиями и конструктивными возможностями, которое может быть разрешено применением ядерного топлива без кислородных приспособлений.

Другой важной задачей, стоящей перед энергетикой, является получение таких материалов, которые могли бы выдержать высокие температуры, развиваемые в ядерных реакторах. В этом случае мы можем увеличить тепловую мощность ядерных реакторов, получить от них максимально возможную тепловую энергию, которую мы ограничиваем в реакторах гашением цепных процессов при помощи специальных стержней из кадмия. К таким новым материалам должны быть предъявлены требования устойчивости против коррозии от радиоактивного излучения.

Таким материалом, в частности, является известный сейчас металлический цирконий, о необходимости получения которого в нужных масштабах ученые говорили на Женевской конференции по мирному использованию атомной энергии.

В настоящее время перед технологией металлов стоят серьезные задачи—дать для ядерной энергетики материалы с повышенными качествами, так как под действием радиоактивного излучения меняются такие свойства материалов, как удельный вес, электро- и теплопроводность, оптические свойства и т. д. Получение качественных конструктивных материалов для атомных двигателей, по-видимому, облегчается тем, что в будущем возможно массовое превращение одних элементов в другие путем ядерных реакций.

Для полноценного применения ядерной энергии необходимо развитие соответствующей новой техники. Получаемая нами в настоящее время от ядерных реакторов тепловая энергия используется не полностью. Коэффициент полезного действия этих реакторов достигает лишь 20—30%. Это связано со своеобразием современных технических средств, к которым мы приспособляем сейчас ядерную энергию. Превращение ядерной энергии в электрическую в на-

стоящее время происходит через промежуточные этапы. В теплообменниках происходит образование пара, который вызывает механическое движение турбогенератора. Механическая энергия турбогенератора в свою очередь превращается электрогенераторами в электроэнергию. Естественно, что это все приводит к потерям энергии, к понижению коэффициента полезного действия ядерных реакторов. В связи с этим перед учеными стоит задача повышения коэффициента полезного действия атомных энергетических установок путём развития новой атомной техники.

Несмотря на вышеуказанные недостатки современные ядерные реакторы уже сейчас с успехом применяются в СССР для получения электроэнергии. Горячая вода от ядерного реактора также может быть использована для теплофикации городов и сел, для устройства оранжерей, теплиц и т. д., а горячие газы — для отопления и вентиляции помещений. Несомненно, что решение проблем осуществления новой атомной техники, которая будет рождаться рядом с усовершенствованием старых технических средств (применительно к атомной энергии) поведут нас в будущем к невиданному расцвету и росту производительных сил.

В настоящее время наука намечает путь к непосредственному превращению атомной энергии в электрическую. Этот путь заключается в том, чтобы использовать радиоактивный распад искусственно-радиоактивных элементов. Мощный поток β -лучей (электронов) дает, например, такой искусственно-радиоактивный элемент, как стронций. Если поток этот пропустить через полупроводники (кремний, германий), то каждый электрон, летящий от стронция, может выбить из кристалла указанных полупроводников 200—300 тыс. новых электронов (рис. 43,а). Этот усиленный поток электронов и есть электрический ток. На этой основе создают стронциевые атомные батарейки, которые могут работать без перезарядки более 20 лет. Правда, эти источники пока что маломощны, они дают напряжение лишь 0,2 в и очень слабый ток.

Увеличивая количество изотопов и соединяя

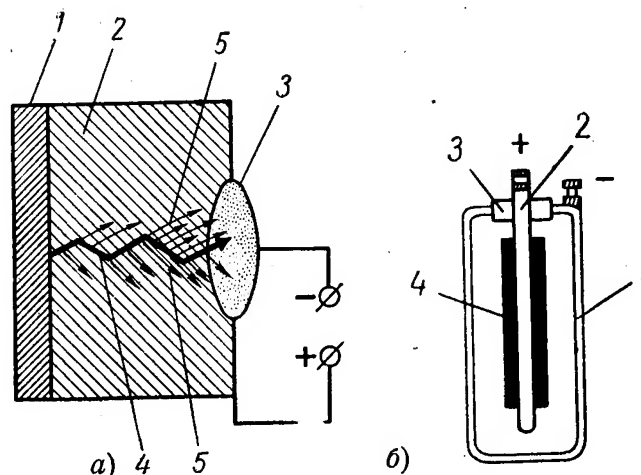


Рис. 43. Атомные электрические батареи:

- а) 1—радиоактивное вещество; 2—полупроводник; 3—коллектор;
4—траектория радиоактивного электрона; 5—выбитые электроны.
б) 1—металлический корпус; 2—внутренний электрод; 3—изолятор
или янтарь; 4—радиоактивный изотоп.

несколько атомных элементов параллельно в батарее, можно получить от нее значительно больше тока. Такие высоковольтные батареи могут быть применены для питания маломощных высоковольтных цепей в различной радиотехнической аппаратуре, где для этой цели обычно применяются довольно сложные и громоздкие установки. Представление об атомной батарейке можно получить из рисунка 43, б, где отрицательным электродом является металлический корпус 1, внутри которого помещен положительный электрод 2, изолированный кварцем или янтарем 3 (электрод покрыт тонким слоем радиоактивного вещества 4).

Испуская β -частицы, электрод теряет отрицательный заряд, а следовательно, заряжается положительно; внешний электрод (корпус) при этом заряжается отрицательно.

Говоря о будущем ядерной энергии, трудно предсказать все возможности ее практических применений. Можно лишь смело сказать, что много чудес и неожиданностей принесет нам атомный век. Люди,

жившие на заре открытия электричества, никак не могли представить себе тех чудес, которые сотворило развитие электротехники. Мы же являемся сейчас свидетелями существования беспроводной радиосвязи, говорящего кино, телевизионной передачи. Человек, сидя дома, может в телевизоре посмотреть кино и театры столиц, где сооружены телевизионные передающие центры (скоро они получат повсеместное распространение). Развитие электротехники привело нас также к целому ряду технических переворотов в производстве, транспорте и т. д. Развитие же атомной техники безусловно принесет человеку еще больший расцвет культуры и экономики.

При этом следует иметь в виду, что ядерная энергетика является молодой наукой, а для технического переворота в деле применения любых новых открытий требуется длительное время. Практическое использование атомной энергии, как это отметил акад. А. Н. Несмеянов, является делом целой эпохи, а старые способы производства энергии будут сосуществовать с атомной энергетикой так же, как паровоз рядом с электровозом.

Говоря о роли ядерной энергии в ближайшие 50 лет, ученые подчеркнули на Женевской конференции, что применение ядерной энергии позволит слабо развитым странам более равномерно размещать свою промышленность и внести большое разнообразие в производство; они будут иметь возможность получать более дешевую электроэнергию и сократить расходы на ввоз топлива и капитального оборудования, необходимого для создания энергетических установок обычного типа.

Говоря о перспективах ядерной энергетики в будущем, часто рассказывают еще о таких полуфантастических планах, как орошение, например, таких пустынь, как Сахара, и др. Существуют идеи сооружения в Гибралтарском проливе гигантской гидроэлектростанции, создания сверхскоростной электрической дороги Лондон — Париж — Берлин — Варшава — Москва — Пекин, создания строительства плотины в Беринговом проливе, связанного с комплексом сооружений, которые направят теплые течения

Тихого океана в Северный Ледовитый океан для утепления территории Заполярья.

Ясно, что осуществление таких планов было бы равносильно открытию новых континентов и повело бы народы земного шара к невиданному богатству. К сожалению, в условиях капиталистического окружения эти планы нереальны, ибо для их решения требуется не только научно-техническое сотрудничество ученых всего мира, но и политико-экономическое единство всех стран.

В настоящее время развитие атомной энергии для мирных целей тормозится еще тем, что основные средства народов и силы ученых капиталистических стран привлечены к созданию атомного и водородного оружия. Это неизбежно приводит и нас к приобретению такого же оружия для своей безопасности, так как от этого вида оружия капиталистические страны до сих пор вопреки требованиям народов мира еще не отказались. Гарантией же сотрудничества ученых всех стран, как показало пленарное заседание международной Женевской конференции ученых, может и должно быть безусловное запрещение ядерного и термоядерного оружия массового истребления.

Что же касается вопроса относительно запасов химического топлива, то подсчеты геологов показывают, что его при современных темпах расходования должно хватить лишь на 200—400 лет. В связи с этим некоторые реакционные буржуазные ученые, закрывшие глаза на закономерность развития науки, утверждали, что человечество перенаселено и что в 2100 г. ему нечем будет топить печь. Нетрудно угадать мысль этих реакционных буржуазных пропагандистов: они проповедовали неизбежность войн как меры предосторожности от перенаселения.

В наших условиях расцвет ядерной энергетики приведет к тому, что нефть, уголь, сланцы будут использованы как сырье для химической промышленности, для получения ценных материалов.

Практически запасы атомного топлива не ограничены, так как в будущем человечество найдет метод освобождения ядерной энергии из атомов многих элементов. В настоящее же время человечество распо-

лагает пока что такими видами ядерного горючего, как уран 235, уран 233, плутоний и изотопы водорода (дейтерий и тритий). Кроме того, со временем наука сделает термоядерную реакцию управляемой. Запасы урана в недрах Земли по расчетам ученых составляют примерно тысячи миллиардов тонн, а запасы тория превышают запасы урана более чем в три раза. Энергия, запасенная в уране и тории, в 10—20 раз превышает энергию, запасенную в каменном угле и нефти вместе взятых. Это обеспечивает человечество на очень длительный срок. Если же учесть, что наука не стоит на месте, а безусловно добьется освобождения атомной энергии еще из других химических элементов, то человечество навсегда будет обеспечено ядерной энергией, которая с развитием атомной техники станет гораздо дешевле и экономичнее, чем энергия, получаемая путем сжигания химического топлива.

Вполне естественно, что огромные задачи, выдвигаемые перед учеными развитием атомной физики, тем скорее будут разрешены, чем энергичнее будут сотрудничать ученые всего мира в решении этих задач.

В этом отношении организованный в СССР в марте 1956 г. Объединенный восточный институт ядерных исследований кладет здоровую основу для такого сотрудничества, ускорив тем самым решение теоретических и практических задач ядерной физики.



• КОСМИЧЕСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ •

Поток различных атомных ядер, непрерывно падающий из мирового пространства на Землю, называется космическими лучами. Поток этот в основном состоит из ядер атомов водорода (протонов) и ядер атомов гелия (α -частиц). Само название „космические лучи“ происходит от греческого слова „космос“, что означает мир, вселенная. Мы знаем, что все тела, весь мир (планеты и звезды) построены из различных химических элементов, а последние состоят из атомов. Поэтому неудивительно, что космические лучи не являются чем-либо необычным, а представляют собой частицы единой материи.

Таково в общих чертах представление о космических лучах. Для того чтобы несколько ближе ознакомиться с природой космических лучей, мы должны получить ответы хотя бы на следующие основные вопросы:

1. Почему космические лучи являются потоком ядер атомов, а не потоком самих атомов вместе с их электронными оболочками?

2. Почему космические лучи в основном состоят из ядер атомов водорода и гелия?

3. Чем космические лучи отличаются от солнечных, рентгеновых и других лучей?

4. Что является источником космических лучей, какова причина того, что они с колоссальной скоростью, а следовательно, и энергией движутся на нашу планету?

5. Каково научное и техническое значение космических лучей?

Мы знаем, что в составе вселенной имеются звезды, в недрах которых царит сверхвысокая температура (порядка 20 млн. градусов). Все вещества в таких условиях могут находиться только в газообразном и весьма накалинном состоянии. Атомы газообразной массы при таких условиях теряют свои электроны, их ядра, как говорят, оголяются. Известно, что при повышении температуры скорость движения атомов увеличивается, столкновения учащаются. При температурах в миллионы градусов атомы приобретают гигантские скорости, а следовательно, колоссальные кинетические энергии. Сталкиваясь, они как бы сдирают друг с друга электронные оболочки.

При своем движении с большими скоростями атомные ядра, идущие как от звезд, так и от межзвездных скоплений, сталкиваются с частицами межзвездной материи. Это также приводит к образованию ионов и даже „голых“ ядер. Таким образом, во вселенной имеются условия для образования частиц, составляющих космические лучи.

Космические лучи больше всего состоят из протонов. Опыты, проведенные в верхних слоях атмосферы при помощи фотопластинок, показывают, что α -частицы встречаются в космических лучах примерно в четыре-пять раз реже чем протоны; ядра атомов более тяжелых элементов углерода, азота и кислорода встречаются в составе космических лучей примерно в 100 раз реже, а ядра же более тяжелых элементов еще реже. Замечательным оказалось то, что указанный количественный состав различных атомных ядер в космических лучах соответствует астрономическим данным средней распространенности химических элементов во вселенной. Например, ядра атомов элементов лития, бериллия и бора не найдены в составе космических лучей. Это соответствует данным астрофизиков о малой

распространенности этих элементов во вселенной. Наоборот, ядра водорода и гелия (протоны и α -частицы) встречаются в космических лучах, как было сказано, чаще всего, что соответствует большей распространенности водорода и гелия во вселенной; известно, что газообразная масса звезд и Солнца состоит в основном из водорода и гелия. Если космические лучи, попадающие на нашу атмосферу из мирового пространства, назвать (как это принято) первичными космическими лучами, то все сказанное относится к первичным космическим лучам.

Космические лучи являются потоком частиц очень высоких энергий. Средняя энергия космических частиц составляет величину порядка десяти тысяч миллионов электрон-вольт (10^{10} эв). В космических лучах встречаются и такие частицы, которые обладают сверхвысокими энергиями, в десятки и сотни миллионов раз большими, чем указанная средняя энергия, т. е. энергией порядка 10^{18} эв. Лучи, обладающие такой колоссальной энергией, должны иметь очень короткую длину волн по сравнению с длиной световых волн.

Возникает вопрос, можно ли говорить о длинах волн космических лучей, которые являются потоком частиц? Современная физика на основе целого ряда фактов показывает, что волны во многих случаях можно рассматривать как частицы и, наоборот, частицы как волны. Световые волны в ряде случаев, например в явлении фотоэффекта, приходится рассматривать как поток частиц фотонов¹. Частицы в их движении в свою очередь проявляют при известных условиях волновые свойства. Чем больше энергия частицы, тем короче длина соответствующей волны. Поэтому космические лучи могут быть рассмотрены как волны с очень короткой длиной, ибо их энергия очень велика. Опыты показывают, что космические лучи проходят даже сквозь толщины свинца в 1 м и более; они не только пронизывают большие толщи атмосферы, но и обнаруживаются под землей (в шахтах) на расстоянии более 1 км.

¹ Фотон—это частица, не имеющая заряда и массы покоя; фотон существует только в движении.

С другой стороны, установлено, что первичные космические лучи, которые идут на нашу атмосферу из мировых глубин, лишь в редких случаях доходят до поверхности самой земли.

В таком случае возникает вопрос: как же мы можем говорить, что космические лучи проходят через большие толщи вещества, находящиеся на поверхности земли, и проникают на большие расстояния в глубину земли? Оказалось, что первичные космические лучи, доходя до земной атмосферы, расходуют свою энергию на создание так называемых вторичных космических лучей. Те космические лучи, которые мы наблюдаем на уровне моря и под землей, являются вторичными космическими лучами. Что это значит? Это значит, что столкновение первичных космических лучей с атомными ядрами земного атмосферного воздуха вызывает взрыв этих ядер или, как говорят, расщепление этих ядер на составляющие их частицы-протоны и нейтроны¹.

Подобное расщепление ядер атомов воздуха на составляющие их частицы-протоны и нейтроны, при котором часто из ядер вылетают и своеобразные осколки в виде α -частиц, происходит при энергиях налетающих частиц порядка 100 млн. электрон-вольт (10^8 эв). Если же энергия первичных космических частиц достигает величины порядка 1000 млн. электрон-вольт (10^9 эв) и выше, то их столкновение с ядрами атомов воздуха приводит к такому взрыву этих ядер, при котором образуются ливни, состоящие не только из протонов, нейтронов и α -частиц, но и из новых частиц, получивших название „пи“-мезонов (π -мезоны). Доказано, что существуют заряженные и нейтральные „пи“-мезоны. Масса заряженных π -мезонов составляет 276 электронных масс (сокращенно m_e), а масса нейтральных π -мезонов равна 264 m_e .

Как заряженные, так и нейтральные π -мезоны оказались чрезвычайно недолговечными. В стомиллионные доли секунды заряженные π -мезоны превращаются в заряженные частицы, называемые „мю“

¹ Подобные же взрывы будут происходить и в других более плотных веществах при прохождении через них космических лучей.

μ -мезонами, и нейтральные частицы, называемые нейтрино¹, согласно следующей схеме:

$$\begin{aligned}\pi^+ &\rightarrow \mu^+ + \nu \\ \pi^- &\rightarrow \mu^- + \bar{\nu},\end{aligned}$$

где ν — нейтрино.

В свою очередь μ -мезоны тоже в миллионные доли секунды распадаются в зависимости от знака заряда по следующим схемам:

$$\begin{aligned}\mu^+ &\rightarrow e^+ + 2\nu \\ \mu^- &\rightarrow e^- + 2\bar{\nu},\end{aligned}$$

где e — электрон, а e^+ — позитрон.

Масса μ -мезона равна $212 m_e$.

Нейтральные мезоны оказались еще более недолговечными частицами. За время порядка 10^{-14} сек. они превращаются в γ -фотоны — частицы электромагнитного излучения очень высокой частоты.

Характерно, что в процессе взаимодействия космических лучей с ядрами атомов воздуха или другого вещества происходит рождение новых элементарных частиц — заряженных и нейтральных π -мезонов (см. рис. 44). Заряженные π -мезоны создают μ -мезоны, а нейтральные π -мезоны — электроны и фотоны высоких энергий. μ -мезоны, как показали опыты, обладают большой проникающей способностью и составляют в основном так называемую „проникающую компоненту“ (часть) космических лучей². Именно мезоны и оказались теми частицами, которые проходят большие толщи вещества, проникают в глубь земли. Это объясняется тем, что μ -мезоны в отличие от π -мезонов, протонов и нейтронов не являются ядерно активными, не тратят свою энергию на расщепление ядер атомов среды, а расходуют ее только на ионизацию этих атомов.

Электронно-фотонная компонента космических лучей, созданная π^0 -мезонами в воздухе или в дру-

¹ Нейтрино — это легкая частица, не имеющая электрического заряда и трудно поддающаяся наблюдению (масса нейтрино значительно меньше массы электрона).

² В проникающую компоненту входят еще протоны и нейтроны, менее проникающие, чем μ -мезоны, но более проникающие, чем электроны и фотоны.

том веществе подвергается каскадному размножению.

Электронно-фотонная компонента космических лучей называется „мягкой компонентой“ космических лучей, так как в веществах эта компонента поглощается гораздо быстрее, чем проникающая компонента.

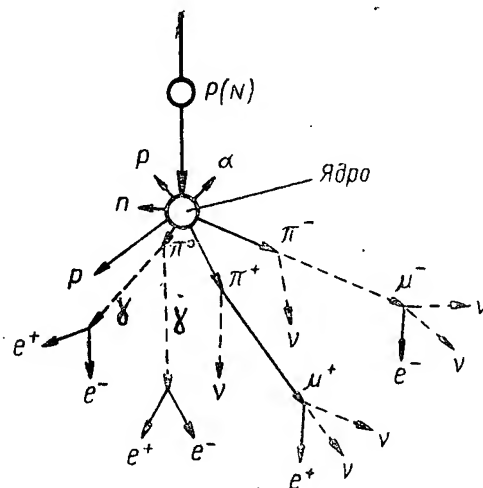


Рис. 44. Схема образования электронно-ядерного ливня протоном или нейтроном высоких энергий:

P и N — протон и нейтрон высоких энергий; p и n — протон и нейтрон малых энергий; α — частица осколка ядра.

При достаточно высокой энергии первичной частицы развивается процесс последовательного размножения частиц, приводящий к образованию так называемых широких атмосферных ливней, покрывающих на поверхности земли площадь в десятки и сотни гектаров.

Опыты показывают, что с ростом высоты, начиная от уровня моря, интенсивность космических лучей растет вплоть до высоты 20 км (см. рис. 45). С увеличением высоты до 25—30 км наблюдается некоторое падение интенсивности космических лучей, при дальнейшем увеличении высоты интенсивность

становится постоянной. Это объясняется тем, что в верхних слоях атмосферы, где плотность атмосферы мала, число столкновений первичных космических лучей мало; лишь на расстоянии 25 км от уровня моря начинается заметное размножение частиц путем создания вторичных частиц в ядерных расщеплениях.

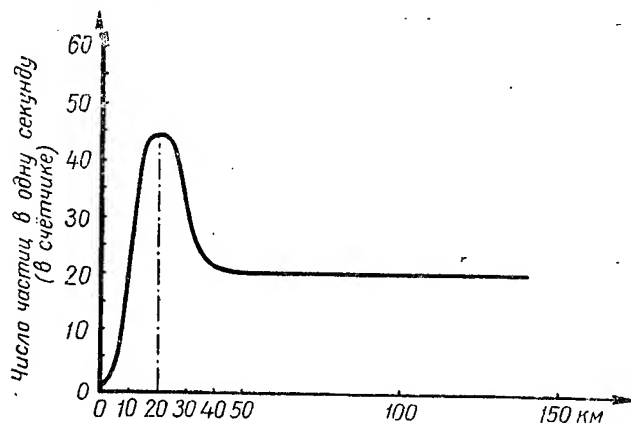


Рис. 45. Кривая высотного хода интенсивности космических лучей.

На высоте максимального размножения частиц (20 км над уровнем моря) первичное излучение составляет весьма малую долю общей интенсивности. По мере дальнейшего прохождения космических лучей сквозь атмосферу поглощение частиц (первичных и вторичных) начинает преобладать над процессом образования новых частиц; следовательно, по мере проникновения широких атмосферных ливней в нижние слои атмосферы происходит уменьшение его поперечных размеров.

Поглощение частиц космического излучения сильно зависит от атомного номера вещества, через который проходят космические лучи. В тяжелых веществах с большим атомным номером (например, в свинце) мягкая компонента поглощается быстрее, чем в легких веществах с меньшим атомным номером (например, в воздухе). Для отдаления мягкой электронно-фотонной компоненты от проникаю-

щей компоненты мезонов, протонов и нейтронов достаточно поставить на пути потока космических лучей свинцовую пластину толщиной в 10 см. Подобным методом пользуются экспериментаторы для исследования природы и свойств ядерных частиц протонов, нейтронов, а особенно новых частиц — мезонов.

Ввиду различия интенсивности и состава космических лучей на различных высотах исследования их производят в самых различных условиях: на уровне моря, на горных и средних высотах, в стратосфере при помощи самолетов и шаров-зондов, снабженных автоматической регистрирующей аппаратурой. Исследование космических лучей производят также под водой и под землей (в шахтах, пещерах и т. д.), на различных широтах, где отклоняющее действие земного магнитного поля на космические лучи различно (широтный эффект).

Действие магнитного поля Земли на космические лучи растет от полюсов к экватору, в силу чего интенсивность космических лучей на экваторе меньше, чем на полюсах; мало энергичные частицы, отклоняясь в сторону или возвращаясь обратно магнитным полем Земли, не доходят до уровня моря, как это видно из рисунка 46. Падение интенсивности космических лучей на экваторе представлено в виде графика на рисунке 47.

Кроме π -и μ -мезонов в космических лучах обнаружены еще более тяжелые мезоны:

1. θ^\pm и θ^0 -мезоны (заряженные и нейтральные тэта-мезоны).
2. k^\pm -мезоны (заряженные к-мезоны).
3. τ^\pm -мезоны (заряженные тау-мезоны).

Как показывают опыты, массы этих частиц

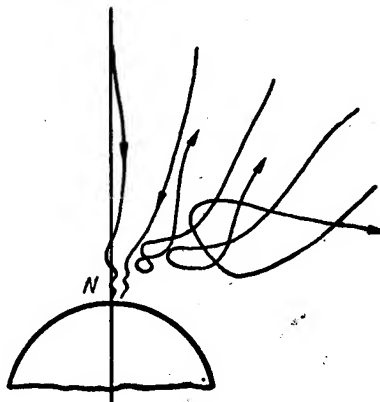


Рис. 46. Отклонение частиц космических лучей магнитным полем Земли.

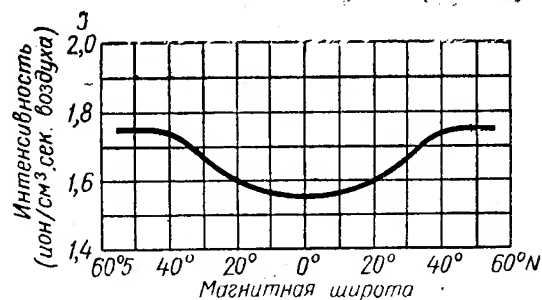


Рис. 47. Кривая хода интенсивности космических лучей по широтам (от полюса к полюсу). Минимум интенсивности наблюдается на экваторе.

больше массы π -мезона ($280 m_e$) и меньше массы протона ($1840 m_e$).

Время жизни θ -мезона порядка $10^{-9} \div 2 \cdot 10^{-10}$ сек., k - и τ -мезонов порядка 10^{-8} сек., после чего они распадаются на более легкие мезоны по следующим вероятным схемам:

$$\theta^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-; \theta^\pm \rightarrow \pi^\pm + \pi^0.$$

$$k^\pm \rightarrow \pi^\pm + \theta^0.$$

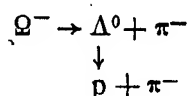
$$\tau^\pm \rightarrow \pi^\pm + \pi^+ + \pi^-.$$

Кроме описанных нами μ -, π -, θ -, k - и τ -мезонов (с массой промежуточной между массой электрона и массой протона) обнаружены еще более тяжелые частицы, масса которых заключена между массой протона и массой дейтрона¹ ($3680 m_e$). Эти частицы были названы гиперонами. Гипероны встречаются как заряженные, так и нейтральные. Нейтральный гиперон или Λ^0 -частица (лямбда нуль-частица) имеет массу $2180 m_e$, а заряженные Λ^\pm — $2330 m_e$. Время жизни этих частиц порядка $3 \cdot 7 \cdot 10^{-10}$ сек., после чего они распадаются на протон или нейтрон и π -мезон по следующим схемам:

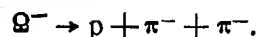
$$\Lambda^0 \rightarrow p + \pi^-; \Lambda^+ \rightarrow p + \pi^0; \Lambda^- \rightarrow n + \pi^-.$$

¹ Дейтрон—это ядро тяжелого водорода дейтерия, которое состоит из протона и нейтрона.

Установлено так же наличие еще более тяжелых (по сравнению с Δ -частицами) отрицательно заряженных частиц, получивших название каскадных гиперонов или Ω -частиц (омега-частиц). Масса каскадного гиперона порядка 2600 *me*. Ω^0 и Ω^+ -гиперонов пока не обнаружены. Отрицательный каскадный гиперон распадается с течением времени порядка 10^{-10} сек. на π^- -мезон и нейтральную Δ^0 -частицу; последняя, в свою очередь распадается на протон и π^- -мезон:



или в конечном итоге:



Все известные нам элементарные частицы с основными их характеристиками могут быть представлены в виде следующей таблицы (стр. 161).

Вопрос об источнике космических лучей является одним из сложных вопросов современной науки. Высказывалась гипотеза, что космические лучи — это световые фотоны высоких энергий и, что эти фотоны, якобы, возникают в результате превращения веществ в излучение путем каких-то неизвестных нам процессов во вселенной. Другие связывали возникновение космических лучей с катастрофами во вселенной, вызывающими разрушение звезд.

Современные гипотезы основываются на данных астрономической науки. Звездная материя, как мы говорили выше, состоит из газообразной массы, в которой ядра атомов оголены (лишены электронной оболочки) под влиянием высокой температуры. Межзвездная материя — это также газообразные скопления заряженных частиц. Эти заряженные частицы приводятся в движение, постепенно ускоряясь в космических электромагнитных полях¹.

В одной из новейших гипотез утверждается, что источником частиц космических лучей являются

¹ Такие поля существуют как вокруг звезд, так и в межзвездном пространстве.

Таблица элементарных частиц

Название частиц	Символ	Масса покоя	Спин ¹	Время жизни в сек.	Реакция распада
0	фотон	0	1	∞	—
Легкие частицы (лептоны)	нейтрино ν электроны e^\pm мю-мезоны μ^\pm	$< 5 \cdot 10^{-4}$ 1 212	$\frac{1}{2}$	∞ ∞ $2,2 \cdot 10^{-6}$	$e^- + e^+ \rightarrow \gamma + \gamma$ $\mu^\pm \rightarrow e^\pm + \nu + \nu$
Мезоны	пи-мезоны π^0 π^\pm тета-мезоны θ^0 θ^\pm к-мезоны k^\pm тау-мезоны τ^\pm	264 276 965 ~ 960 ~ 960 967	0 целочисленный	$3 \cdot 10^{-14}$ $2,6 \cdot 10^{-8}$ $\sim 2 \cdot 10^{-10}$ $\sim 10^{-9}$ $\sim 10^{-8}$ $\sim 10^{-8}$	$\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$ $\pi^\pm \rightarrow \mu^\pm + \nu$ $\theta^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$ $\theta^\pm \rightarrow \pi^\pm + \pi^0$ $k^\pm \rightarrow \pi^\pm + \theta^0$ $\tau^\pm \rightarrow \pi^\pm + \pi^\pm + \pi^\mp$
Тяжелые частицы (барионы)	нуклоны p n гипероны Λ^0 Λ^\pm каскадные гипероны Σ^-	1836 1838 2180 2330 2600	$\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ полуцелый	∞ 20—60 $\sim 3 \cdot 10^{-10}$ $\sim 3 \cdot 10^{-10}$ $\sim 10^{-10}$	$p + \bar{p} \rightarrow \pi^+ + \pi^-$ (p — антипротон) $n \rightarrow p + e^- + \nu$ $\Lambda^0 \rightarrow p + \pi^-$ $\Lambda^+ \rightarrow p + \pi^0$ $\Lambda^- \rightarrow n + \pi^-$ $\Sigma^- \rightarrow \Lambda^0 + \pi^-$ $p + \pi^-$

¹ Спин — это механический момент вращения частицы вокруг собственной оси.

новые и сверхновые звезды. Сверхновыми называются переменные звезды, светимость которых внезапно увеличивается в сотни миллионов раз, а затем медленно спадает. Эта гипотеза показывает возможность приобретения частицами больших энергий в условиях образования сверхновых и новых звезд.

Одним из важнейших путей опытного изучения рассматриваемого вопроса является наблюдение за временным изменением интенсивности потока космических лучей, путем сопоставления этого изменения с явлениями, происходящими во вселенной.

23 февраля 1956 года наблюдалось внезапное увеличение интенсивности космических лучей; одновременно был обнаружен взрыв на Солнце. Из этого факта, по-видимому, вытекает, что Солнце является одним из возможных источников космических лучей. Но Солнце в обычных условиях вносит лишь очень малую долю в общий поток космических лучей. В противном случае днем интенсивность космических лучей была бы больше, чем в ночное время, чего не наблюдается на опыте. Интенсивность космических лучей в обычных условиях днем и ночью почти одинакова. Только длительными измерениями можно установить лишь очень незначительную разницу.

Таким образом, по-видимому, космические лучи идут от всех звезд (в том числе и от Солнца) и быть может частично от межзвездной материи. Для окончательного выяснения вопроса о механизме или способе ускорения космических лучей в мировом пространстве науке предстоит сделать еще много.

Можно надеяться, что разнообразные и богатые опытные данные, полученные на различных местах земного шара в период нынешнего Международного геофизического года (1957/58), в течение которого ученые всего мира работают сообща, прольют определенный свет на происхождение космических лучей.

О научном и практическом значении космических лучей и об их действиях на организм человека можно сказать следующее.

Изучение значительных колебаний интенсивности потока космических лучей, вызываемое земными магнитными бурями и солнечными вспышками, без-

условно способствует выяснению свойств земного и солнечного магнетизма. Изучение временных (полусуточных, суточных, звездосуточных, сезонных и т. д.) изменений интенсивности даст возможность судить об источнике космических лучей.

Изучение взаимодействия космических лучей с веществом приводит к более глубокому познанию мира. Мы уже видели, что в космических лучах при их взаимодействии с веществом, скажем с воздухом, рождаются совершенно новые частицы-мезоны, которые превращаются в электроны и позитроны, а последние в свою очередь в фотоны. Это показывает неисчерпаемость материи и непрерывность ее движения, ее проявление в различных формах. Это указывает на глубокую связь материи со светом, так как свет представляет собой поток частиц-фотонов, которые при определенном значении их энергии могут превращаться в вещество, в электроны и позитроны. „Свет,—писал покойный академик С. И. Вавилов,—всегда исходит от вещества, рождается в веществе и, поглощаясь, исчезает в веществе“.

Изучение процессов, вызываемых космическими лучами в веществе открывает возможность изучения глубочайших свойств вещества.

Энергия, выделяемая в гигантских масштабах из атомных ядер, объясняется теми специфическими ядерными силами, отличными от всех других сил в природе. Природа и особенности ядерных сил далеко еще не известны науке. На изучение природы и свойств ядерных сил ученые сейчас обращают особое внимание. Космические лучи являются одним из важнейших средств, при помощи которых ученые изучают ядра атомов различных веществ. Космические лучи—это природные снаряды для расщепления ядер различных веществ, особенно тяжелых элементов. В частности установлено, что π -мезоны, обнаруженные в космических лучах при ядерных взрывах, являются, по-видимому, одним из переносчиков ядерных сил.

Но вся беда в том, что плотность потока космических лучей (тем более космических лучей высоких и сверхвысоких энергий) мала. Поэтому ученые стре-

мятся получить частицы высоких энергий в лабораторных условиях искусственным путем при помощи ускорителей. В таких ускорителях в настоящее время можно получить частицы с большими энергиями для расщепления ядер различных элементов. Ученые всего мира пользуются таким способом для изучения ядерных расщеплений. Но техника ускорения частиц еще не достигла такого уровня, чтобы получить частицы сверхвысоких энергий, которые встречаются в космических лучах, так что в этом отношении космические лучи, несмотря на сравнительно малую плотность потока, являются пока еще незаменимым средством в руках ученых для исследования ядерных расщеплений при высоких энергиях бомбардирующих частиц.

Мы уже говорили, что космические лучи обладают колоссальной энергией. Действительно, приблизительные подсчеты показывают, что если бы, например, одна частица космических лучей—протон обладал массой 1 грамм, то энергии этой частицы было бы достаточно для того, чтобы вскипятить Черное море. Но вся беда в том, что космическое излучение чрезвычайно разрежено. Чтобы собрать это излучение в концентрированный пучок, потребовалось бы создание электромагнитов колоссальных размеров, для питания которых нужны были бы сверхмощные электростанции. Так что в настоящее время о непосредственном техническом использовании космических лучей как источника энергии для практических целей говорить не приходится; в этом отношении человечество располагает более выгодным и перспективным источником энергии, каким является атомная энергия.

Что же касается использования свойств космических лучей для практических целей, то подобная возможность не исключена. Например, в последнее время в печати сообщалось о переносном приборе, построенном учеными Австралии, действие которого основано на использовании свойств космических лучей. Космические лучи проникают на большую глубину в Землю. В зависимости от количества фиксируемых указанным прибором космических лучей можно с большой точностью определить, например,

толщину слоя пустой породы над слоем угля в шахтах, а также и целый ряд других факторов геологического строения слоев Земли.

Что касается биологического воздействия космических лучей, то их действие на организм не оказывается заметным образом даже на больших высотах, так как мала плотность их потока¹. Повидимому, даже пассажиры будущих межпланетных кораблей могут быть спокойны относительно вредного воздействия космических лучей.

О МЕТОДАХ РЕГИСТРАЦИИ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

Поскольку космические лучи представляют собой поток ядер атомов различных элементов, то они не могут быть наблюдаемые при помощи существующей увеличительной аппаратуры. Возникает вопрос: как же в таком случае ведутся наблюдения за космическими лучами для их изучения?

Оказалось, что свойство космических лучей ионизировать атомы среды делает видимыми пути их движения. Это свойство и лежит в основе наблюдения и регистрации космических лучей.

Мы уже рассмотрели некоторые методы дозиметрического контроля радиоактивного излучения. Эти методы основаны на ионизирующей способности частиц радиоактивного излучения. Мы говорили об ионизационной камере, газовых и сцинтилляционных счетчиках, коротко остановились на методе фотопластинок и камеры Вильсона. Все эти методы могут быть применены и для регистрации частиц космических лучей. Но главными методами, при помощи которых ведется изучение космических лучей, являются метод камеры Вильсона, газовых счетчиков и фотопластинок. Эти методы применяются либо в отдельности, либо в комбинации между собой.

Регистрация космических лучей методом толсто-слойных фотопластинок заключается в том, что в фотопластинках при прохождении космических

¹ Доза облучения космическими лучами на уровне моря составляет примерно 0,0004 рентгена в день, что значительно меньше по сравнению с максимально допустимой безвредной дозой 0,05 рентгена в день.

частиц атомы чистого серебра освобождаются из кристалла бромистого серебра, где они находятся в химической связи с атомами брома. Химическая связь атомов в молекулах любого вещества обуславливается электрическими силами внешних электронов. В данном случае один из электронов атома серебра прочно захвачен атомом брома. Электрон, связывающий атом серебра с атомом брома, выбивается частицами космических лучей; освобожденные атомы (ионы) серебра оказываются способными к проявлению: они создают характерное потемнение в эмульсии. На рисунке 49 показана одна из фотографий ядерного расщепления, вызванного частицей космического излучения.

Метод регистрации частиц при помощи газовых счетчиков может быть сделан наглядным путем радиотехнического присоединения к газовому счетчику так называемой годоскопической ячейки с неоновой лампочкой; при прохождении частицы через такой

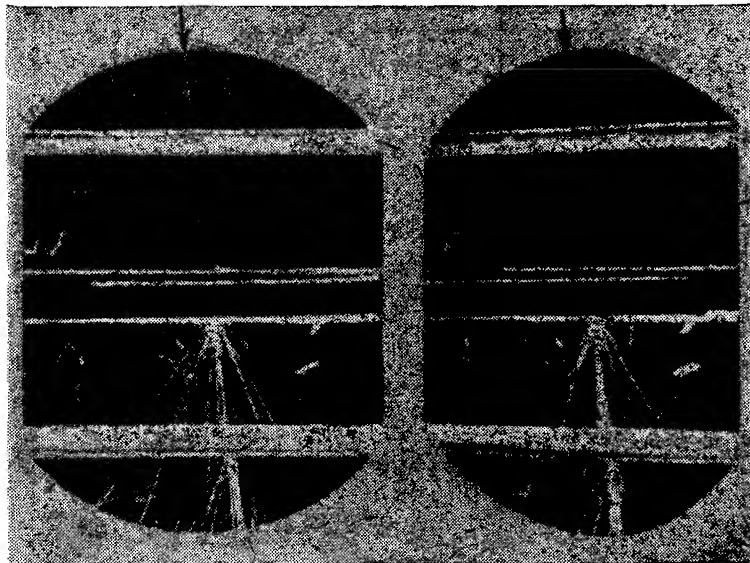


Рис. 48. Стерефотография взаимодействия космического протона большой энергии со свинцом (толщина 5 см), полученная в камере Вильсона.

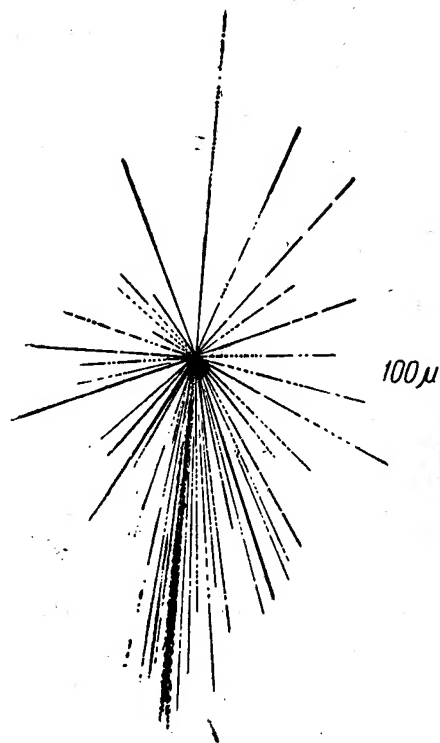


Рис. 49. Фотография ядерного расщепления в фотоэмульсии под действием частицы космического излучения.

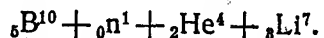
газовый счетчик может срабатывать не только механический счетчик, но и произойдет кратковременная вспышка этой лампы. Набрав ряды таких годоскопических счетчиков¹, мы можем заметить зажигания неоновых лампочек, соответствующих тем счетчикам, которые находятся на пути движения частиц. Зажигание этих ламп на пути движения частиц может быть автоматически сфотографировано.

Все указанные методы регистрации непригодны для регистрации нейтронов, так как нейтроны будучи нейтральными частицами не могут вызвать

непосредственную ионизацию атомов среды. Но нейтроны, являясь ядерно-активными частицами, могут вызвать ядерное расщепление, в результате чего появляются вторичные заряженные частицы протоны и α -частицы, которые уже могут вызвать ионизацию среды. Для регистрации нейтронов посредством создания заряженных частиц применяются так называемые пропорциональные счетчики, наполненные газом, атомные ядра которых легко расщепляются под действием медленных нейтронов. В качестве такого газа применяют

¹ Газовые счетчики, соединенные радиотехнически с неоновыми лампочками, называются годоскопическими счетчиками.

${}^6\text{B}^{10}\text{F}_3$ (соединение атомов изотопов бора с атомами фтора). Медленные нейтроны, попадая в счетчик, взаимодействуют с ядрами атомов бора, в результате чего ядра бора превращаются в ядра лития, излучая α -частицу:



α -частица вызывает ионизацию газа в счетчике, создавая тем самым условие регистрации нейтронов. В качестве предварительного замедления нейтронов пропорциональные счетчики окружают обычно парафином. Это делается потому, что при замедлении нейтронов возрастает вероятность их взаимодействия с ядрами вещества.

Несомненно, что в ближайшем будущем совместные усилия ученых приведут к решению проблемы происхождения космических лучей. Первостепенную роль призваны сыграть в этом деле искусственные спутники Земли.

* * *

Мы рассмотрели использование и применение энергии атомного ядра в мирных целях; уже сегодня мы можем сказать, что применение ядерной энергии открывает огромные возможности покорения человеком природы и позволяет решить целый ряд технических проблем, которые, как нам кажется, граничат с фантастикой.

Энергия атомного ядра может быть применена в военных целях. Возможность использования ядерной энергии в военных целях делает атомное оружие оружием массового уничтожения. Ничем неоправданное применение американцами атомных бомб в 1945 году в Японии, многократные и все еще непрекращающиеся испытания атомных бомб разных видов и калибров показали, что человечество должно быть избавлено от ужасов атомной войны и ее последствий.

Наша Коммунистическая партия и Советское правительство непоколебимо и твердо проводят политику мира и дружбы между народами, добиваются запрещения применения всех видов оружия массового поражения: атомного, химического и бактериологического.

Однако реакционные круги ряда капиталистических стран стремятся обострить и усилить международное напряжение, навязать новую войну против Советского Союза, Китайской Народной Республики и других миролюбивых государств.

Развивая военный психоз, организуя агрессивные блоки, провоцируя войну, проводя политику „на грани войны“, эти круги стремятся запугать народы атомным оружием. Мы не можем считать, что империалистически настроенные правящие круги тратят огромные материальные средства на испытания и подготовку запасов атомного и термоядерного вооружения только для того, чтобы нас запугать. Жизнь показала, что они способны применить любые средства массового уничтожения. Вот почему наш советский народ проявляет постоянную заботу об укреплении обороноспособности нашей родины.

Наша страна имеет атомное и термоядерное (водородное) оружие различных типов.

Атомное и термоядерное оружие создано и имеется в нашей стране только для того, чтобы любому агрессору ответить сокрушительным ударом, если он осмелится применить против нас это оружие.

Атомное оружие в руках советского народа является средством охраны мира, оно связывает руки тем, кто хотел бы развязать войну. Борьба за запрещение атомного оружия, как и любого другого оружия массового уничтожения людей, отказ от испытания атомного оружия и призыв к правительствам, располагающим этим видом оружия, последовать этому примеру, укрепление мира и сотрудничества между народами соответствует политике Советского государства.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
История атома	5
Открытие радиоактивности	7
Первая модель атома	11
Опыты Резерфорда	12
Связь планетарной модели атома с периодической системой химических элементов	16
Искусственное превращение элементов	19
Открытие нейтронов. Современное представление о строении атомного ядра	20
Изотопы	22
Искусственная радиоактивность	23
Частицы-снаряды и их источники	26
Ядерная энергия	35
Деление ядер урана под действием нейтронов	36
Цепная ядерная реакция	42
Дефекты массы и энергия связи	45
О природе ядерных сил	50
Осуществление цепной ядерной реакции	53
Ядерные реакторы	56
Атомная электростанция СССР	61
Сравнение атомной и угольной электростанций	71
Термоядерные реакции	74
Современное ядерное топливо	75
О путях развития ядерных энергетических установок	79
Радиоактивные изотопы	85
Применение радиоактивных изотопов в производстве	86
Применение радиоактивных изотопов в агробиологии	91
Применение "меченых" атомов в медицине	94
"Меченые" атомы в археологии, геологии и химии	98
О некоторых перспективах развития ядерной энергетики	102
Космическое излучение	114

Абакар Абакарович Абдуллаев

ЭНЕРГИЯ АТОМНОГО ЯДРА

Редактор В. М. Дуков Художник В. Я. Батищев
Худ. редактор В. И. Бельский Техн. редакторы А. Ф. Федотова, Т. А. Шептеева
Корректоры О. М. Суздадова, Л. П. Михеева

Сдано в набор 15/XI 1957 г. Подписано к печати 29/IX 1958 г. 84×108^{1/8} Печ. л. 8,5
(7,14)+0,33 вкл. Уч.-изд. л. 6,86+0,25 вкл. Тираж 25000 экз. Л. 08494.
Цена 2 руб. Заказ № 4874

Учпедгиз. Москва. 3-й проезд Марьиной рощи, д. 41.
Типография изд-ва "Горьковская правда",
г. Горький, ул. Фигнер, д. 32.

**РЕДАКЦИЕЙ ФИЗИКИ УЧПЕДГИЗА
ПОДГОТАВЛИВАЮТСЯ К ПЕЧАТИ И ВЫПУСКУ.
В ТЕКУЩЕМ ГОДУ СЛЕДУЮЩИЕ КНИГИ:**

1. К л е м е н т ь е в С. Д. Телеавтоматика, ч. II (теле-
радиоавтоматика). Пособие для учителя.

Книга содержит описание устройства самодельных
приборов и установок по телеавтоматике, управляемых
на расстоянии по радио.

2. М о г и л ь к о А. Д., Звездный атлас, Пособие для
учащихся.

Атлас содержит 15 карт звездного неба; на картах
нанесены звезды до 5,75 звездной величины. Помещены
фотографии звездных скоплений, туманностей, галактик.
Даны числовые характеристики ярких звезд и других
объектов. Атлас представляет интерес для преподавате-
лей, студентов и любителей астрономии; используется
в учебной и внеклассной работе.

3. А н о х и н П. Л. и др., Школьный авиамodelный
кружок. Пособие для учителя.

Книга содержит материал для работы авиамodelь-
ных кружков, чертежи и описание, как изготовить лета-
ющие модели и наглядные пособия авиамodelьных
кружков. Книга написана в соответствии с программой
кружка, широко иллюстрирована.

4. К у з н е ц о в В. С. и др., Юному трактористу.
Пособие для учащихся старших классов.

В книге излагается устройство тракторов (дизельно-
го и карбюраторного). Даются основные понятия по
уходу, по технике управления, по использованию. На-
значение книги — помочь учащимся изучить в порядке
внеклассных занятий трактор в таком объеме, чтобы
после практической стажировки работать помощниками
трактористов и трактористами. Пособие широко иллю-
стрировано.

5. Догаев М. М. и др., Астрономический календарь на 1959 год. Пособие для учащихся.

Календарь содержит основные справочные данные, необходимые для астрономических наблюдений, сведения о новом в астрономии и справочные данные о небесных явлениях.

6. Рябов Н. Ф., Фрезерное дело. Пособие для учащихся.

Книга предназначена для подготовки учащихся школы к работе на токарных станках. В ней описывается устройство токарно-винторезного станка.

Пособие может быть использовано для факультативных занятий по токарному делу и во внеклассной работе.

7. Алакин Н. Д. и др., Завод и школа. Пособие для учителя.

Описывается опыт изучения основ производства и профессиональная подготовка учащихся на заводе.

8. Белоусов В. П. и др., Уроки по машиноведению в VIII классе. Пособие для учителя.

В книге даются планирование учебного материала и поурочные разработки курса машиноведения в VIII классе в соответствии с программой по машиноведению.

9. Варновских А. Б. и др., Некоторые опыты по механике. Пособие для учителя.

Книга содержит конструктивное описание новых приборов по механике, кинематике и динамике и методические указания по постановке опытов на них.

10. Веденов А. Н., Фотографирование камерой «Любитель». Пособие для учащихся.

В книге описывается устройство фотокамеры «Любитель», даются указания к фотографированию ею, приводятся соответствующие справочные таблицы, расчеты и рецепты. Книга иллюстрирована.

11. Горев Л. А., Экскурсии по физике в МТС. Пособие для учителя.

Описывается опыт работы учителя по физике по организации и проведению экскурсий на объекты МТС.

12. Лукашик В. И., Сборник вопросов и задач по физике для VI—VII классов. Пособие для учителя.

13. Пешков Е. О., Школьный технический словарь. Пособие для учащихся.

В справочнике содержатся материалы по обработке дерева и металла, по электромонтажным работам. Составлен в алфавитном порядке.

14. Покровский А. А., Оборудование физического кабинета. Пособие для учителя.

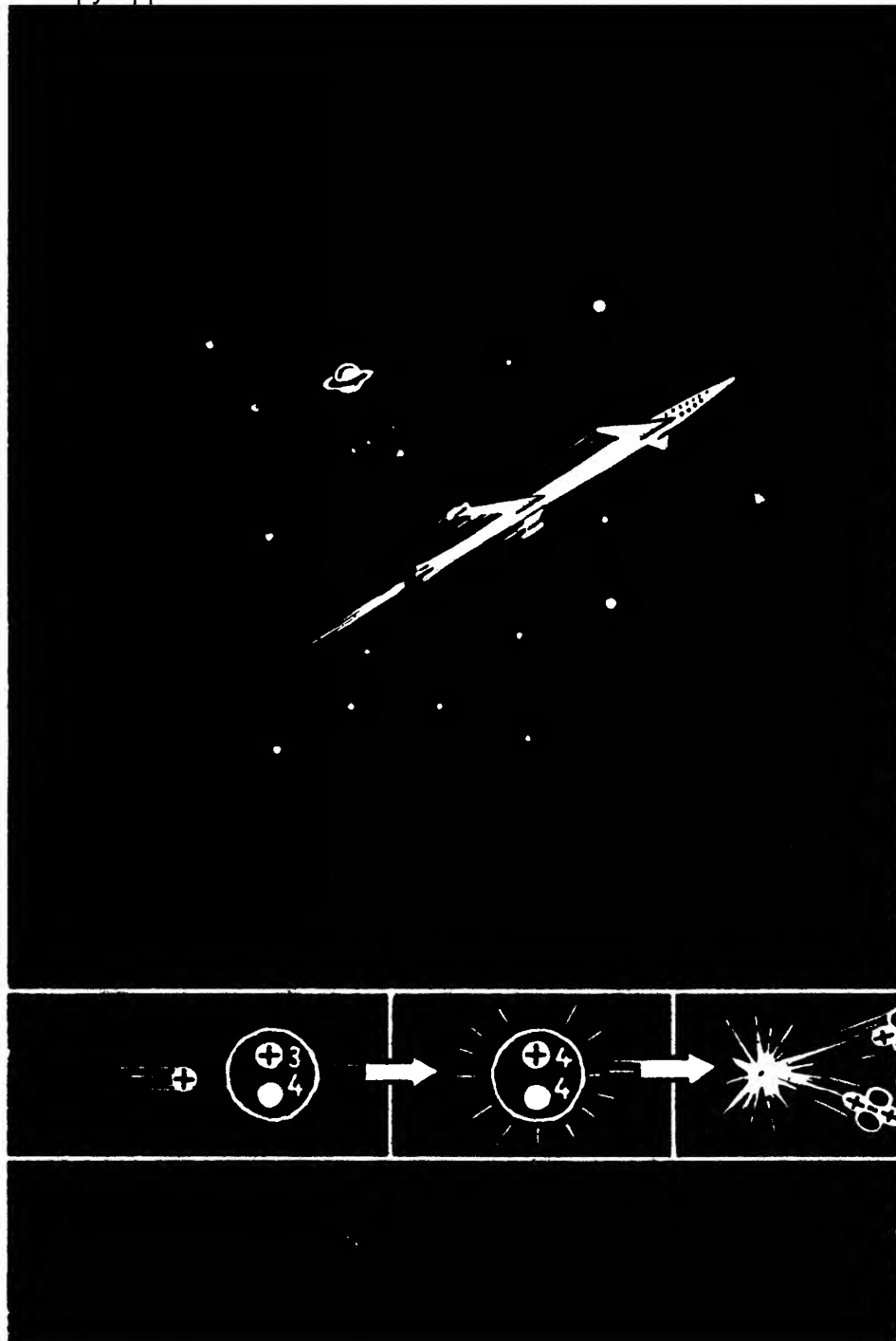
В книге излагаются принципы организации физического кабинета, его демонстрационное и лабораторное оборудование; даются указания об использовании оборудования.

15. Соколова Е. И., Юному физики. Пособие для учащихся. В книге содержится большое количество задач, иллюстраций, а также описание занимательных опытов по физике.

Заказы на книги принимаются через местные магазины Книготорга и отделы «Книга—почтой» республиканских, краевых и областных книготоргов.

Книги, вышедшие в свет, можно приобрести во всех магазинах Книготорга, потребкооперации и «Книга—почтой».

Sanitized Copy Approved for Release 2010/05/10 : CIA-RDP80T00246A050300100001-1



Sanitized Copy Approved for Release 2010/05/10 : CIA-RDP80T00246A050300100001-1

Н. Л. ГЛИНКА

**ЗАДАЧИ
И
УПРАЖНЕНИЯ
ПО
ОБЩЕЙ
ХИМИИ**

**ГОСХИМИЗДАТ
МОСКВА — 1958**

**ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ПРИМЕНЯЙТЕ
ОКРУГЛЕННЫЕ АТОМНЫЕ ВЕСА
КРОМЕ ТЕХ СЛУЧАЕВ, КОГДА АТОМНЫЕ ВЕСА УКАЗАНЫ
В УСЛОВИИ ЗАДАЧИ**

Азот N	14	Марганец . . . Mn	55
Алюминий Al	27	Медь Cu	64
Аргон Ar	40	Молибден . . . Mo	96
Барий Ba	137	Мышьяк As	75
Бор B	11	Натрий Na	23
Бром Br	80	Неон Ne	20
Ванадий V	51	Никель Ni	59
Висмут Bi	209	Олово Sn	119
Водород H	1	Платина Pt	195
Вольфрам W	184	Ртуть Hg	201
Гелий He	4	Свинец Pb	207
Железо Fe	56	Сера S	32
Золото Au	197	Серебро Ag	108
Иод I	127	Сурьма Sb	122
Кадмий Cd	112	Углерод C	12
Калий K	39	Фосфор P	31
Кальций Ca	40	Фтор F	19
Кислород O	16	Хлор Cl	35,5
Кремний Si	28	Хром Cr	52
Магний Mg	24	Цинк Zn	65

Н. Л. ГЛИНКА

ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ ПО ОБЩЕЙ ХИМИИ

ИЗДАНИЕ ДЕСЯТОЕ
(стереотипное)

*Допущено Главным управлением технологических вузов Министерства
высшего образования СССР в качестве учебного пособия
для нехимических вузов*



ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ХИМИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
МОСКВА • 1958

54
Г-54

10-5-2

Книга является учебным пособием для студентов высших учебных заведений при самостоятельной работе над курсом общей химии. По характеру и по построению она рассчитана, в частности, на заочное обучение.

В книге содержится более 850 задач и упражнений, относящихся к различным разделам курса. В начале глав кратко излагаются основные понятия и теоретические положения, относящиеся к данному разделу курса, и разбирается примерное решение нескольких типичных задач.

К ЧИТАТЕЛЮ

Издательство просит присылать Ваши замечания и отзывы об этой книге по адресу: Москва, 12, Новая площадь, д. 10, Госхимиздат.

ГЛИНКА Николай Леонидович

Задачи и упражнения по общей химии

Редактор Л. В. Бровкин

Техн. редактор М. С. Лурье

Подписано в печать 24/VI 1958 г.

Тираж 25 001—75000 экз. (второй завод)

Уч.-изд. л. 12,07

Бумага 84×108/32=3,625 бум. л.—11,9 печ. листа.

Цена 4 р. 60 к.

Заказ 744

Отпечатано с матриц в типографии Госхимиздата, Москва, 88 Угрешская

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие к шестому изданию	6
<i>Глава I. Состав сложного вещества</i>	<i>7</i>
1. Весовой состав химических соединений	7
2. Эквиваленты. Закон кратных отношений	9
<i>Глава II. Газовые законы. Определение молекулярных весов газов и паров</i>	<i>13</i>
1. Основные газовые законы	13
3. Парциальное давление газа	17
3. Закон Авогардо. Объемные отношения между реагирующими газами	20
4. Граммолекулярный объем газа	23
5. Вес газа. Плотность газа	26
6. Молекулярный вес вещества в газообразном состоянии	30
7. Уравнение состояния газа и его применение при расчетах	32
<i>Глава III. Определение атомных весов</i>	<i>35</i>
1. Определение атомного веса элемента по молекулярным весам его соединений	35
2. Определение атомного веса по атомной теплоте сгорания элемента	36
<i>Глава IV. Вывод химических формул</i>	<i>40</i>
1. Вывод простейших формул	40
2. Вывод истинных формул	42
<i>Глава V. Валентность. Составление формул по валентности</i>	<i>45</i>
<i>Глава VI. Классификация неорганических соединений</i>	<i>48</i>
1. Окислы	48
2. Кислоты	50
3. Основания	51
4. Амфотерные гидроксиды	52
5. Соли	52
6. Номенклатура солей	53
7. Составление формул оснований и солей	55
8. Важнейшие способы получения кислот, оснований и солей	57

<i>Глава VII. Расчеты по химическим уравнениям</i>	62
<i>Глава VIII. Термохимические уравнения и расчеты</i>	63
<i>Глава IX. Строение атома. Химическая связь</i>	74
1. Строение атома. Образование ионов	74
2. Ионные и атомные соединения	76
3. Образование ионных соединений	77
4. Образование атомных соединений	79
5. Валентность элементов в атомных соединениях	81
6. Определение валентности элементов в сложных веществах	81
<i>Глава X. Химическое равновесие</i>	85
1. Скорость химических реакций. Расчеты равновесных систем	85
2. Смещение химического равновесия	90
<i>Глава XI. Растворы</i>	99
1. Концентрация растворов	99
2. Растворимость	106
3. Теплота растворения и гидратации	109
4. Осмотическое давление растворов	111
5. Давление пара растворов	114
6. Замерзание и кипение растворов	117
<i>Глава XII. Теория электролитической диссоциации</i>	121
1. Степень электролитической диссоциации	121
2. Концентрация ионов и ионное равновесие	128
3. Произведение растворимости	134
4. Ионные реакции и уравнения	139
5. Водородный показатель	144
6. Гидролиз солей	147
<i>Глава XIII. Комплексные соединения</i>	151
<i>Глава XIV. Периодическая система элементов Д. И. Менделеева</i>	156
1. Зависимость свойств элементов от строения их атомов	156
2. Радиоактивность. Закон смещения. Изотопы	160
<i>Глава XV. Окислительно-восстановительные реакции</i>	165
1. Окисление и восстановление	165
2. Составление уравнений окислительно-восстановительных реакций	167
<i>Глава XVI. Химические процессы и электрический ток</i>	178
1. Ряд напряжений	178
2. Гальванические элементы	179
3. Электролиз	183
4. Законы электролиза	187

Глава XVII. Сплавы	197
Глава XVIII. Свойства химических элементов и их соединений	198
1. Водород. Инертные газы	198
2. Галогены	199
3. Элементы группы кислорода	201
4. Элементы группы азота	203
5. Углерод и кремний	207
6. Металлы I группы периодической системы	209
7. Металлы II группы периодической системы	212
8. Жесткость воды	213
9. Металлы III и IV групп периодической системы	216
10. Металлы VI, VII и VIII групп периодической системы	219
11. Дополнительные вопросы и задачи	222
Приложения	
Таблица 1. Давление водяного пара при температурах от 0° до 100°	224
Таблица 2. Удельные веса водных растворов некоторых щелочей при 18°	224
Таблица 3. Удельные веса водных растворов некоторых кислот при 18°	225
Логарифмы	226
Ответы на задачи	228

ПРЕДИСЛОВИЕ К ШЕСТОМУ ИЗДАНИЮ

Со времени выхода в свет пятого издания «Задач и упражнений по общей химии» прошло более двух лет. За это время был дважды издан переработанный автором его учебник «Общая химия», что потребовало и некоторого пересмотра настоящего пособия, являющегося в известной степени дополнением к учебнику.

При подготовке книги к шестому изданию были приведены в соответствие с учебником теоретические введения к некоторым разделам, причем коренным образом переработаны разделы «Строение атомов», «Химическая связь» и «Окислительно-восстановительные реакции». В главу XVIII включен новый раздел — «Жесткость воды». Заново проверены приведенные в книге задачи и упражнения и часть из них заменена новыми.

Пересматривая содержащийся в книге материал, автор считал целесообразным оставить без изменений общую структуру пособия и почти все имевшиеся в предыдущих изданиях задачи, по возможности сохранив их прежнюю нумерацию.

Март 1954 г.

Автор

ГЛАВА I

СОСТАВ СЛОЖНОГО ВЕЩЕСТВА

1. Весовой состав химических соединений

Состав сложного вещества (химического соединения) характеризуется отношением весовых количеств образующих его элементов.

В простейших случаях состав сложного вещества устанавливается или путем получения его из простых веществ (метод синтеза), или путем разложения его на простые вещества (метод анализа).

Пример 1. Для определения состава окиси магния было сожжено 6 г магния, причем получилось 10 г окиси магния. Следовательно, в 10 г окиси магния содержится 6 г магния и 4 г кислорода, т. е. магний и кислород соединены друг с другом в весовом отношении $6:4 = 3:2$. Это отношение и выражает собой состав окиси магния.

Пример 2. При разложении некоторого количества воды электрическим током было получено 0,5 г водорода и 4 г кислорода. Из этих данных непосредственно вытекает, что состав воды может быть выражен отношением 0,5:4 или 1:8. Иначе говоря, в воде на 1 вес. ч. водорода приходится 8 вес. ч. кислорода.

Очень часто состав сложного вещества выражают в процентах. Для этого 100 делят на части, пропорциональные числам отношения, указывающего состав данного вещества. Например, найденный выше состав окиси магния в процентах выразится так:

$$\text{магния } \frac{100 \cdot 3}{5} = 60\%$$

$$\text{кислорода } \frac{100 \cdot 2}{5} = 40\%$$

На практике состав сложного вещества определяется не только путем его синтеза или анализа, но и с помощью других реакций, в которые вступает или в результате которых получается данное вещество.

Пример 3. При восстановлении 8 г окиси меди углем образовалось 2,2 г углекислого газа, состав которого выражается отношением 3 : 8 (на 3 вес. ч. углерода приходится 8 вес. ч. кислорода). Определить состав окиси меди.

Решение. Находим сперва путем пропорционального деления, сколько кислорода содержится в 2,2 г углекислого газа:

$$\frac{22 \cdot 8}{11} = 1,6 \text{ г}$$

Так как это количество кислорода содержалось до реакции в 8 г окиси меди, то количество меди в 8 г окиси меди составляет $8 - 1,6 = 6,4 \text{ г}$.

Следовательно, состав окиси меди может быть выражен отношением $(\text{Cu}) : (\text{O}) = 6,4 : 1,6$, или 4 : 1.

ЗАДАЧИ

1. При получении сернистого железа на 4,2 г железа пошло 2,4 г серы. Выразите состав этого соединения отношением наименьших целых чисел и в процентах.

2. При разложении бромистого кальция из 7 г его получается 5,6 г брома. Выразите состав бромистого кальция отношением целых чисел и в процентах.

3. При сжигании 1,55 г фосфора получается 3,55 г фосфорного ангидрида. Каков количественный состав фосфорного ангидрида?

4. При сжигании некоторого количества углеводорода образовалось 3,3 г углекислого газа и 2,7 г воды. Определите количественный состав углеводорода (состав углекислого газа и воды см. выше в примерах 2 и 3).

5. При сжигании 1,9 г сероуглерода образовалось 3,2 г сернистого газа, содержащего на 1 вес. ч. серы 1 вес. ч. кислорода. Определите состав сероуглерода и выразите его в процентах.

6. Состав сернистого серебра выражается отношением $(\text{Ag}) : (\text{S}) = 27 : 4$. Сколько граммов серебра можно получить из 124 г этого вещества?

7. При сжигании некоторого количества мышьяковистого водорода было получено 0,66 г мышьяковистого ангидрида

(содержащего 75,8% мышьяка) и 0,18 г воды. Выразите состав мышьяковистого водорода в процентах.

8. При сжигании 16 г сернистой меди (содержащей 80% меди и 20% серы) получилось 16 г окиси меди и 6,4 г сернистого газа. Определите состав полученных соединений, выразив его отношением наименьших целых чисел.

9. Сколько граммов воды получится при сжигании 20 г углеводорода, содержащего 25% водорода и 75% углерода? Состав воды выражается отношением $(H):(O) = 1:8$.

10. При разложении 50 г углекислого кальция получилось 28 г окиси кальция и 22 г углекислого газа. Зная, что в окиси кальция на 5 вес. ч. кальция приходится 2 вес. ч. кислорода, а в углекислом газе на 3 вес. ч. углерода 8 вес. ч. кислорода, рассчитайте состав углекислого кальция.

2. Эквиваленты. Закон кратных отношений

Эквивалентом элемента называется число, которое показывает, сколько весовых частей элемента соединяется с 8 вес. ч. кислорода или с 1 (точнее, 1,008) вес. ч. водорода или замещает те же количества кислорода и водорода в их соединениях.

Элементы соединяются друг с другом и замещают один другого в количествах, пропорциональных их эквивалентам (закон эквивалентов).

Из закона эквивалентов непосредственно вытекает:

1) что числа 8 для кислорода и 1,008 для водорода являются эквивалентами этих элементов;

2) что эквивалент элемента можно определить по составу его соединения с другим элементом, эквивалент которого известен.

Если элемент образует несколько соединений с другим элементом, то эквивалент его, очевидно, будет иметь различные значения в зависимости от того, из какого соединения он был вычислен. Но все эти различные значения эквивалента будут относиться друг к другу, как небольшие целые числа.

Когда два элемента образуют несколько различных соединений друг с другом, весовые количества одного элемента, приходящиеся в этих соединениях на одно и то же весовое количество другого элемента, относятся между собой, как небольшие целые числа (закон кратных отношений).

Понятие об эквиваленте и закон эквивалентов распространяются и на сложные вещества.

Эквивалентом сложного вещества называется весовое количество его, взаимодействующее без остатка с 1 вес. ч. водорода или с 8 вес. ч. кислорода или вообще с 1 эквивалентом любого другого вещества.

Таким образом, все вещества взаимодействуют друг с другом в весовых количествах, пропорциональных их эквивалентам. Поэтому для определения эквивалента как простого, так и сложного вещества достаточно установить, в каком весовом отношении оно взаимодействует с любым другим веществом, эквивалент которого известен.

Количество вещества в граммах, численно равное его эквиваленту, называется *граммэквивалентом*.

Пример 1. Определить эквивалент магния, зная, что 3 вес. ч. магния соединяются с 2 вес. ч. кислорода.

Решение. Так как по закону эквивалентов весовые количества, в которых магний и кислород соединяются друг с другом, должны быть пропорциональны их эквивалентам, то, обозначив эквивалент магния через \mathcal{E}_{Mg} и имея в виду, что эквивалент кислорода равняется 8, составляем пропорцию

$$3 : 2 = \mathcal{E}_{Mg} : 8$$

откуда находим

$$\mathcal{E}_{Mg} = \frac{3 \cdot 8}{2} = 12$$

Пример 2. Хлористый кальций содержит 36% кальция и 64% хлора. Определить эквивалент кальция, если эквивалент хлора 35,5.

Решение. В хлористом кальции кальций и хлор соединены в весовом отношении 36 : 64. Это отношение должно равняться отношению их эквивалентов. Обозначив эквивалент кальция через \mathcal{E}_{Ca} , составляем пропорцию

$$36 : 64 = \mathcal{E}_{Ca} : 35,5$$

откуда

$$\mathcal{E}_{Ca} = \frac{36 \cdot 35,5}{64} = 20$$

Пример 3. Вычислить эквивалент фосфорной кислоты, зная, что при замещении в ней водорода кальцием на 1 вес. ч. кислоты идет 0,612 вес. ч. кальция, эквивалент которого равен 20.

Решение. Рассуждая, как и в предыдущих случаях, составляем пропорцию

$$1 : 0,612 = \mathcal{E}_{\text{кисл.}} : 20$$

Откуда эквивалент кислоты

$$\mathcal{E}_{\text{кисл.}} = \frac{1 \cdot 20}{0,612} = 32,7$$

ЗАДАЧИ

11. При сгорании 5 г алюминия образуется 9,44 г окиси алюминия. Определите эквивалент алюминия.

12. Сульфид металла содержит 52% металла. Определите эквивалент металла, зная, что эквивалент серы 16.

13. При растворении в кислоте 3,06 г металла выделилось 2,8 л водорода, измеренного при 0° и 760 мм *. Вычислите эквивалент металла.

14. Определите эквивалент металла, 2 г которого вытесняют из раствора медной соли 1,132 г меди. Эквивалент меди 31,8.

15. Один грамм некоторого металла соединяется с 1,78 г серы или с 8,89 г брома. Найдите эквиваленты брома и металла, зная, что эквивалент серы 16.

16. 1,6 г кальция и 2,615 г цинка вытесняют из кислоты одинаковые количества водорода. Найдите эквивалент цинка, зная, что эквивалент кальция 20.

17. Некоторое количество металла, эквивалент которого 28, вытесняет из кислоты 700 мл водорода, измеренного при нормальных условиях *. Определите вес металла.

18. Одно и то же количество металла соединяется с 0,2 г кислорода и с 3,173 г одного из галогенов. Определите эквивалент галогена.

19. Один литр кислорода весит 1,4 г. Сколько литров кислорода расходуется при сгорании 21 г магния, эквивалент которого 12?

20. На восстановление 1,8 г окисла металла пошло 833 мл водорода, измеренного при нормальных условиях *. Рассчитайте эквивалент окисла и эквивалент металла.

21. Окисел металла содержит 28,57% кислорода, а соединение того же металла с фтором 48,72% фтора. Рассчитайте из этих данных эквивалент фтора.

22. Для растворения 16,86 г металла потребовалось 14,7 г серной кислоты, эквивалент которой 49. Определите эквивалент металла и объем выделившегося при его растворении водорода.

* 1 л водорода при этих условиях весит 0,08 г.

23. Определите эквивалент хлорного железа, зная, что 1,355 г его взаимодействует без остатка с 1 г едкого натра, эквивалент которого 40.

24. При нейтрализации некоторой кислоты едким натром на 1,125 г кислоты идет 1 г едкого натра, эквивалент которого 40. Вычислите эквивалент кислоты.

25. Мышьяк образует два окисла, из которых один содержит 65,2% As, а другой 75,8% As. Определите эквивалент мышьяка в том и другом окисле. Как относятся эти эквиваленты друг к другу?

26. Олово образует два окисла, содержащих: первый 78,8% олова и второй 88,12% олова. Вычислите эквиваленты олова, исходя из состава этих окислов, и найдите отношение между полученными величинами.

ГЛАВА II

ГАЗОВЫЕ ЗАКОНЫ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ
МОЛЕКУЛЯРНЫХ ВЕСОВ ГАЗОВ И ПАРОВ

1. Основные газовые законы

Состояние газа характеризуется его температурой, давлением и объемом. Если температура газа 0°C^* , а давление 760 мм рт. ст., то условия, при которых находится газ, называются нормальными. Объем, занимаемый газом при этих условиях, принято обозначать через v_0 , а нормальное давление через p_0 .

Все газы подчиняются следующим законам:

1. При постоянной температуре давление, производимое данной массой газа, обратно пропорционально объему газа (закон Бойля—Мариотта)

$$\frac{p}{p_1} = \frac{v_1}{v} \quad \text{или} \quad pv = \text{const}$$

2. При постоянном давлении объем данной массы газа увеличивается при нагревании с каждым градусом на $1/273$ часть того объема, который газ занимал при 0° (закон Гей-Люссака)

$$v = v_0 + \frac{v_0 t}{273} = v_0 \left(\frac{273 + t}{273} \right)$$

где t — температура по международной стоградусной шкале.

Вводя в эту формулу абсолютную температуру T , отсчитываемую от абсолютного нуля — точки, лежащей на 273° ** ниже нуля по международной стоградусной шкале ($T = 273 + t$), получаем другое выражение для того же закона:

$$v = \frac{v_0 T}{273} \quad \text{или} \quad \frac{v}{T} = \frac{v_0}{273}$$

* $^{\circ}\text{C}$ означает градусы температуры, отсчитываемые по принятой в СССР международной стоградусной шкале.

** Точнее, на $273,16^{\circ}$.

Так как $\frac{v_0}{273}$ — величина постоянная для данной массы газа, то можно написать

$$\frac{v}{T} = \text{const} \quad \text{или} \quad \frac{v}{T} = \frac{v_1}{T_1}$$

При постоянном давлении объем газа изменяется прямо пропорционально абсолютной температуре.

Если же объем газа остается постоянным, например при нагревании газа в закрытом сосуде, то давление газа изменяется прямо пропорционально абсолютной температуре.

$$\frac{p}{T} = \frac{p_1}{T_1}$$

Пользуясь приведенными законами, можно производить различные расчеты, касающиеся: 1) изменения давления газа в зависимости от объема и температуры; 2) изменения объема газа в зависимости от давления и температуры*.

Пример 1. При некоторой температуре давление газа, занимающего объем 3 л, равно 700 мм. Каково станет давление, если, не изменяя температуры, уменьшить объем до 2,8 л?

Решение. Произведение объема газа на его давление есть величина постоянная при данной температуре. Обозначая искомое давление через p , можно написать

$$p \cdot 2,8 = 700 \cdot 3$$

откуда

$$p = \frac{700 \cdot 3}{2,8} = 750 \text{ мм}$$

Пример 2. При 27° объем газа равен 600 мл. Какой объем займет газ при 57°, если давление будет оставаться постоянным?

Решение. Обозначим искомый объем через v_1 , а соответствующую ему температуру через T_1 . Тогда

$$\frac{v}{T} = \frac{v_1}{T_1}$$

* Основным газовым законам точно подчиняются только так называемые идеальные газы. В воображаемом идеальном газе молекулы представляют собой точки (т. е. не имеют объема) и не оказывают никакого воздействия друг на друга.

Реальные газы несколько отклоняются от указанных законов, и тем сильнее, чем ниже температура и чем больше давление. Поэтому в случае больших давлений или низких температур расчеты являются лишь приближенными.

По условию задачи $v = 600$ мл, $T = 273 + 27 = 300^\circ \text{К}^*$ и $T_1 = 273 + 57 = 330^\circ \text{К}$. Подставляя эти значения, получаем

$$\frac{600}{300} = \frac{v_1}{330}$$

откуда

$$v_1 = \frac{600 \cdot 330}{300} = 660 \text{ мл}$$

Пример 3. При 15° давление в баллоне с кислородом равно 90 ат . При какой температуре оно станет равным 100 ат ?

Решение. Задача решается аналогично предыдущей:

$$\frac{p}{T} = \frac{p_1}{T_1}$$

Пусть искомая температура T_1 . Тогда $T = 273 + 15 = 288$, $p = 90 \text{ ат}$, $p_1 = 100 \text{ ат}$. Подставляя эти значения в уравнение, получаем

$$\frac{90}{288} = \frac{100}{T_1}$$

откуда

$$T_1 = \frac{288 \cdot 100}{90} = 320^\circ \text{К} = 47^\circ \text{С}$$

Пример 4. При 25° и 745 мм давления некоторое количество газа занимает объем 152 мл . Вычислить, какой объем займет это же количество газа при 0° и 760 мм (такой расчет называется приведением объема газа к нормальным условиям).

Решение. Рассчитаем сперва, какой объем (v_1) займет газ, если, оставляя температуру неизменной, увеличить давление до 760 мм :

$$v_1 \cdot 760 = 152 \cdot 745$$

$$v_1 = \frac{152 \cdot 745}{760} = 149 \text{ мл}$$

Таким образом, при нормальном давлении и той же температуре 25° объем газа будет 149 мл .

Теперь, оставляя давление неизменным, понизим температуру до 0° и рассчитаем новый объем газа v_0 .

* $^\circ \text{К}$ означает градусы температуры, отсчитываемой от абсолютного нуля.

Так как $v_1 = 149$ мл, $T_1 = 273 + 25 = 298^\circ \text{K}$ и $T_0 = 273^\circ \text{K}$, то

$$\frac{v^0}{273} = \frac{149}{298} \quad v_0 = \frac{273 \cdot 149}{298} = 136,5 \text{ мл}$$

Зависимость между объемом газа, давлением и температурой обычно выражается одним общим уравнением, объединяющим законы Бойля—Мариотта и Гей-Люссака

$$pv = \frac{p_0 v_0 \cdot T}{273}$$

где p — давление и v — объем газа при данной температуре T ;

p_0 — нормальное давление и v_0 — объем при нормальных условиях*.

Приведенное уравнение позволяет находить любую из указанных в нем величин, если остальные известны. В частности, определяя из него v_0 , находим

$$v_0 = \frac{pv \cdot 273}{p_0 \cdot T}$$

Пользуясь этой формулой, можно сразу приводить любой объем газа к нормальным условиям, если известны температура и давление газа. Например, подставляя в нее данные из предыдущей задачи, получаем

$$v_0 = \frac{745 \cdot 152 \cdot 273}{760 \cdot 298} = 136,5 \text{ мл}$$

ЗАДАЧИ

27. Давление газа, занимающего объем 2,5 л, равно 1,2 ат. Каково станет давление, если, не изменяя температуру, сжать газ до объема в 1 л?

28. Некоторое количество газа при давлении 2 ат занимает объем 30 л. Какому давлению надо подвергнуть газ при постоянной температуре, чтобы объем его стал равен 25 л?

29. Один грамм воздуха при нормальных условиях занимает объем 773 мл. Какой объем займет то же количество воздуха при 0° и 700 мм?

* Это уравнение легко выводится из предыдущей задачи, если решать ее в общем виде, пользуясь буквенными обозначениями.

30. В стальном баллоне емкостью 12 л находится кислород под давлением 150 ат при 0°. Сколько литров кислорода, приведенных к нормальным условиям, можно получить из такого баллона?

31. При 0° и 896 мм 28 г азота занимают объем 19 л. Какой объем они займут при нормальных условиях?

32. При температуре 17° некоторое количество газа занимает объем 580 мм. Какой объем займет это же количество газа при 100°, если давление его останется неизменным?

33. На сколько градусов надо нагреть газ, находящийся в закрытом сосуде при 0°, чтобы давление его увеличилось вдвое?

34. При 27° объем газа равняется 150 мм. До какой температуры надо нагреть газ при постоянном давлении, чтобы объем увеличился до 200 мм?

35. Давление газа в закрытом сосуде при 12° равно 750 мм. Каково станет давление, если нагреть сосуд до 30°?

36. При 7° давление газа в закрытом сосуде равно 720 мм. Насколько уменьшится давление, если охладить сосуд до —33°?

37. Давление газа в закрытом сосуде при 21° равно 840 мм. До какой температуры надо охладить газ, чтобы давление стало нормальным?

38. Стальной баллон наполнен азотом при 150 ат и 18°. Предельное давление для баллона 200 ат. При какой температуре давление азота достигнет этой величины?

39. При 15° и 720 мм некоторое количество газа занимает объем 912 мм. Какой объем займет это же количество газа при нормальных условиях?

40. Приведите к нормальным условиям 608 мм газа, имеющего температуру 91° и давление 740 мм.

41. Имеется 5 л газа при 27° и 720 мм. Какой объем займет это же количество газа при 39° и 780 мм?

42. При взаимодействии 1,28 г металла с водой выделилось 380 мм водорода, измеренного при температуре 21° и давлении 784 мм. Найдите эквивалент металла.

2. Парциальное давление газа

Давление газа на стенки сосуда, в котором находится газ, обуславливается ударами его молекул. Поэтому при постоянной температуре давление газа прямо пропорционально числу молекул, содержащихся в единице объема газа.

Если в сосуде находится смесь нескольких газов, то каждый из них производит такое же давление, какое он про-

изводил бы, занимая один весь сосуд. Та часть общего давления газовой смеси, которая приходится на долю данного газа, называется *парциальным давлением* газа.

Общее давление газовой смеси равно сумме парциальных давлений отдельных газов, образующих смесь (закон Дальтона).

Зная парциальные давления отдельных газов, составляющих газовую смесь, легко вычислить и общее давление смеси. Наоборот, по объемному составу и общему давлению смеси можно рассчитать парциальные давления содержащихся в смеси газов.

Пример 1. Смешивают 2 л кислорода и 4 л сернистого газа. Оба газа взяты при одинаковом давлении 750 мм. Объем смеси 6 л. Определить парциальные давления газов в смеси.

Решение. Объем кислорода увеличился после смешения в $6:2 = 3$ раза, объем сернистого газа в $6:4 = 1,5$ раза. Во столько же раз уменьшились давления составляющих смесь газов. Следовательно, парциальные давления газов равны:

$$\begin{array}{l} \text{Давление кислорода} \dots\dots\dots 750:3 = 250 \text{ мм} \\ \text{сернистого газа} \dots\dots\dots 750:1,5 = 500 \end{array}$$

Из решения этого примера следует, что *парциальные давления газов пропорциональны их объемному содержанию в смеси.*

Пример 2. Смешивают 3 л углекислого газа с 4 л кислорода и 6 л азота. Давление углекислого газа до смешивания равнялось 720 мм, давление кислорода 810 мм и давление азота 680 мм.

Объем смеси доведен до 10 л. Определить ее давление.

Решение. Рассуждая аналогично предыдущему, находим парциальные давления отдельных газов смеси:

$$\begin{array}{l} \text{Давление углекислого газа} \dots\dots\dots \frac{720 \cdot 3}{10} = 216 \text{ мм} \\ \text{кислорода} \dots\dots\dots \frac{810 \cdot 4}{10} = 324 \text{ } \\ \text{азота} \dots\dots\dots \frac{680 \cdot 6}{10} = 408 \end{array}$$

Общее давление газовой смеси (p) равно сумме парциальных давлений отдельных газов

$$p = 216 + 324 + 408 = 948 \text{ мм}$$

Пример 3. Газовая смесь содержит 30% метана и 70% водорода по объему. Давление смеси 800 мм. Определить парциальные давления составляющих смесь газов.

Решение. Так как парциальные давления газов пропорциональны объемному содержанию газов в смеси, то для определения их надо разделить 800 на части, пропорциональные 30 и 70:

$$\begin{array}{lcl} \text{Давление метана} & \dots\dots\dots & \frac{800 \cdot 30}{100} = 240 \text{ мм} \\ \text{водорода} & \dots\dots\dots & \frac{800 \cdot 70}{100} = 560 \end{array}$$

ЗАДАЧИ

43. Газовая смесь приготовлена из 2 л водорода, взятых при давлении 700 мм, и 5 л метана, взятых при давлении 840 мм. Объем смеси равен сумме объемов взятых газов. Каковы парциальные давления газов в смеси и общее давление смеси?

44. Атмосферный воздух содержит 21% кислорода по объему. Каково парциальное давление кислорода в воздухе при нормальном давлении?

45. В газометре над водой находятся 7,4 л кислорода при температуре 23° и давлении 781 мм. Давление водяного пара при 23° равно 21 мм. Какой объем займет находящийся в газометре кислород при нормальных условиях*?

46. Смешивают 3 л азота, находящегося под давлением 720 мм, с 2 л кислорода. Объем смеси 5 л, а общее давление 732 мм. Каково было давление взятого кислорода?

47. Имеются 2 л кислорода при давлении 756 мм. Сколько литров азота, взятых при таком же давлении, надо прибавить к кислороду, чтобы парциальное давление последнего в смеси равнялось 630 мм?

48. Газовая смесь состоит из окиси и двуокиси азота. Вычислите объемное содержание газов в смеси, если их парциальные давления равны соответственно 272 и 528 мм.

49. Два баллона с кислородом емкостью 3 и 4 л соединены трубкой с краном. При закрытом кране давление кислорода в первом баллоне равно 420 мм, во втором 777 мм. Температура газов одинакова. Каково будет давление в баллонах при той же температуре, если открыть кран?

* При решении задачи учтите, что давление в газометре представляет собой сумму парциальных давлений кислорода и насыщенного водяного пара.

50. Газовая смесь приготовлена из 3 л метана, взятого при 720 мм, 4 л водорода при 630 мм и 1 л окиси углерода при 816 мм. Объем смеси равен 8 л. Определите парциальные давления газов в смеси и общее давление смеси.

3. Закон Авогадро. Объемные отношения между реагирующими газами

В равных объемах любых газов при одинаковой температуре и одинаковом давлении содержится одинаковое число молекул (закон Авогадро).

Перефразируя этот закон, можно сказать, что если равные объемы различных газов при одинаковой температуре содержат одинаковое число молекул, то и давление этих газов одинаково. Следовательно, при постоянном объеме и постоянной температуре давление газа зависит только от числа молекул, но не зависит от их природы.

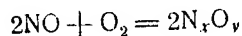
Объемы вступающих в реакцию газов относятся друг к другу и к объемам образующихся газообразных продуктов реакции, как небольшие целые числа (закон объемных отношений Гей-Люссака).

Знание объемных отношений между реагирующими газами позволяет устанавливать состав молекул получающихся веществ. Наоборот, зная состав молекул исходных веществ и продуктов реакции, легко рассчитать отношение объемов участвующих в реакции газов, если температура и давление их остаются неизменными, или вычислить происходящее в результате реакции изменение давления, если реакция протекает в замкнутом пространстве при постоянной температуре.

Пример 1. При взаимодействии окиси азота NO с кислородом из 2 объемов окиси азота и 1 объема кислорода получаются 2 объема нового газа. Установить формулу образующегося газа.

Решение. Так как в равных объемах газов при прочих равных условиях содержится одинаковое число молекул, то из данных задачи непосредственно вытекает, что каждые 2 молекулы окиси азота, взаимодействуя с 1 молекулой кислорода, образуют 2 молекулы нового газа.

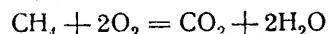
Обозначив состав молекул образующегося газа формулой N_xO_y , можно выразить происходящую реакцию уравнением



Подсчет числа атомов азота и кислорода в левой части уравнения показывает, что в состав 2 молекул нового газа должны входить 2 атома азота и 4 атома кислорода, т. е. что молекула его состоит из 1 атома азота и 2 атомов кислорода. Следовательно, формула газа: NO_2 .

Пример 2. При горении метана CH_4 образуются углекислый газ и водяной пар. Каковы отношения между объемами участвующих в реакции газов, если они измерены при одинаковых условиях?

Решение. При полном сгорании метана на каждую его молекулу расходуются 2 молекулы кислорода, в результате чего образуются 1 молекула углекислого газа и 2 молекулы водяного пара:



Это значит, что из 1 объема метана и 2 объемов кислорода получаются 2 объема водяного пара и 1 объем углекислого газа, измеренные при тех же условиях.

Пример 3. В замкнутом сосуде находится смесь эквивалентных количеств водорода и кислорода при температуре выше 100° . Как изменится давление в сосуде, если вызвать взрыв смеси и затем привести содержимое сосуда к первоначальной температуре?

Решение. Для образования молекулы воды требуются 2 атома водорода и 1 атом кислорода. Следовательно, при взаимодействии водорода с кислородом из каждых 2 молекул водорода и 1 молекулы кислорода получаются 2 молекулы воды или водяного пара. Таким образом, в результате реакции общее число молекул уменьшается в $1\frac{1}{2}$ раза. А так как реакция протекает в замкнутом сосуде, т. е. при постоянном объеме, и по окончании реакции сосуд приводится к первоначальной температуре, то уменьшение числа молекул в $1\frac{1}{2}$ раза влечет за собой такое же уменьшение давления.

ЗАДАЧИ

51. При взаимодействии окиси углерода с хлором из 1 объема окиси углерода и 1 объема хлора образуется 1 объем фосгена. Установите формулу фосгена.

52. После взрыва смеси, состоявшей из 1 объема исследуемого газа и 1 объема водорода, получился 1 объем водяного пара и 1 объем азота. Все измерения производились при одинаковых условиях. Найдите формулу исследуемого газа.

53. При сжигании 1 объема некоторого газообразного углеводорода образуются 3 объема углекислого газа и 4 объема водяного пара. Все объемы измерены при одинаковых условиях. Установите формулу углеводорода.

54. Из скольких атомов состоит молекула парообразного фосфора, если он реагирует с кислородом в объемном отношении 1:5, образуя фосфорный ангидрид?

55. При горении аммиака в хлоре продуктами реакции являются хлористый водород и азот. В каких объемных отношениях взаимодействуют при этой реакции аммиак и хлор и каково отношение между объемами получающихся газов?

56. При окислении аммиака в присутствии катализатора продуктами реакции являются окись азота NO и водяной пар. В каких объемных отношениях взаимодействуют при этой реакции аммиак и кислород и каково отношение между объемами получающихся газообразных продуктов?

57. В каких объемных отношениях взаимодействуют ацетилен C_2H_2 и кислород при горении ацетилена?

58. Сколько литров углекислого газа получается при сгорании 2 л бутана C_4H_{10} , если оба газа измеряются при одинаковых условиях?

59. При сжигании этилена C_2H_4 образовалось 15 л углекислого газа, измеренного при тех же условиях, при каких находился этилен. Сколько литров этилена было сожжено?

60. Сколько литров кислорода потребуется для сжигания 10 л сероводорода, если продуктами реакции являются сернистый газ и вода?

61. После взрыва 20 мл смеси водорода с кислородом осталось 3,2 мл кислорода. Найдите и выразите в процентах объемный состав смеси.

62. Смешивают 1 объем окиси азота NO с 2 объемами кислорода. Вся окись азота превращается в двуокись азота NO_2 . Определите объемный состав полученной газовой смеси.

63. При прохождении смеси равных объемов сернистого газа и кислорода через контактный аппарат 90% SO_2 превращается в SO_3 . Определите объемный состав выходящей из контактного аппарата газовой смеси.

64. В стальном цилиндре находится смесь равных объемов водорода и кислорода при 150° под давлением 0,2 ат. Каково будет давление в цилиндре после взрыва смеси и приведения содержимого цилиндра к первоначальной температуре?

65. Как изменится давление газовой смеси, находящейся в замкнутом сосуде и состоящей из 1 объема азота и 3 объемов водорода, если половина азота превратится в аммиак?

66. В замкнутом сосуде находится смесь, состоящая из 3 объемов кислорода и 1 объема метана при температуре 120° и давлении $0,5 \text{ ат}$. Каково будет давление в сосуде, если вызвать взрыв смеси и привести содержимое сосуда к первоначальной температуре?

67. В закрытом сосуде находится при 150° смесь эквивалентных количеств кислорода и ацетилена C_2H_2 . Как изменится давление в сосуде, если вызвать взрыв смеси и привести содержимое сосуда к первоначальной температуре?

68. Смесь, состоящая из 3 объемов хлора и 1 объема водорода, была оставлена стоять в закрытом сосуде на рассеянном свете при постоянной температуре. Через некоторое время содержание хлора в смеси уменьшилось на 20%. Изменилось ли от этого давление в сосуде? Каков теперь объемный состав смеси? Выразите его в процентах.

4. Граммолекулярный объем газа

Для измерения количества вещества в химии наряду с граммом и килограммом пользуются еще специально химической мерой количества вещества — граммолекулой.

Граммолекулой (или молем) называется количество вещества в граммах, численно равное его молекулярному весу.

Удобство этой меры заключается в том, что граммолекулы всех веществ, имея различный вес, содержат одно и то же число молекул, а именно $6,02 \cdot 10^{23}$ (число Авогадро). Отсюда следует, что граммолекулы всех веществ в газообразном состоянии должны занимать при одинаковых условиях равные объемы.

Объем, занимаемый одной граммолекулой газа (граммолекулярный объем газа), при нормальных условиях равен 22,4 л.

Пользуясь величиной граммолекулярного объема газа, легко рассчитать объем и давление любого количества газа при любых условиях, зная его молекулярный вес.

Пример 1. Определить объем, занимаемый 5,25 г азота при 26° и 736 мм.

Решение. Находим сперва нормальный объем (v_0) указанного количества азота, исходя из граммолекулярного объема и молекулярного веса азота 28:

$$\begin{aligned} 5,25 : 28 &= v_0 : 22,4 \\ v_0 &= \frac{5,25 \cdot 22,4}{28} = 4,2 \text{ л} \end{aligned}$$

Затем приводим полученный объем к указанным в задаче условиям:

$$pv = \frac{p_0 v_0 \cdot T}{273}$$

$$v = \frac{p_0 v_0 \cdot T}{p \cdot 273} = \frac{760 \cdot 4,2 \cdot 299}{736 \cdot 273} = 4,75 \text{ л.}$$

Пример 2. В закрытом сосуде емкостью 500 мл находятся 0,75 г окиси азота NO при 39°. Определить давление газа.

Решение. Граммолекула любого газа, занимая объем 22,4 л при 0°, производит давление в 1 ат. Исходя из этого и учитывая, что граммолекула NO весит 30 г, определяем сперва, какое давление должны производить 0,75 г окиси азота, занимая такой же объем. Так как при постоянном объеме и постоянной температуре давление газа прямо пропорционально его количеству (числу молекул), то для решения поставленного вопроса составляем пропорцию

$$p : 1 = 0,75 : 30$$

$$p = 0,025 \text{ ат}$$

Затем, руководствуясь основными газовыми законами, находим:

1) давление (p_1), производимое 0,75 г окиси азота при объеме 0,5 л и температуре 0°:

$$p_1 \cdot 0,5 = 0,025 \cdot 22,4$$

$$p_1 = \frac{0,025 \cdot 22,4}{0,5} = 1,12 \text{ ат}$$

2) давление (p_2), производимое газом при 39°

$$\frac{p_2}{273 + 39} = \frac{1,12}{273}$$

$$p_2 = \frac{312 \cdot 1,12}{273} = 1,28 \text{ ат}$$

Следовательно, искомое давление равняется 1,28 ат.

Пример 3. Какой объем займет при 0° и 700 мм грамм-эквивалент кислорода?

Решение. Граммэквивалент кислорода равен 8 г. Так как граммолекула кислорода, т. е. 32 г его, занимает при нормальных условиях объем 22,4 л, то объем, занимаемый

граммэквивалентом кислорода, при нормальных условиях равняется

$$\frac{22,4 \cdot 8}{32} = 5,6 \text{ л}$$

Находим теперь объем кислорода при давлении 700 мм:

$$v \cdot 700 = 5,6 \cdot 760$$

$$v = \frac{5,6 \cdot 760}{700} = 6,08 \text{ л}$$

ЗАДАЧИ

69. Какие объемы будут занимать при нормальных условиях следующие количества газов: 80 г O_2 ; 3 г NO; 128 г SO_2 ?

70. Считая, что 1 г воды при 100° занимает объем приблизительно в 1 мл, определите, во сколько раз увеличивается объем при превращении воды в пар при той же температуре.

71. Какие объемы занимают при нормальных условиях граммолекулы следующих веществ: кислорода, углекислого газа, глицерина $C_3H_8O_3$ (уд. вес 1,26) и воды?

72. Определите объем, занимаемый 70 г азота при 21° и 1,4 ат.

73. На вопрос, какой объем займет граммолекула воды при нормальных условиях, был получен ответ: 22,4 л. Почему этот ответ является ошибочным и какой ответ будет правильным?

74. Какие объемы занимают при нормальных условиях следующие количества газов: 1 г водорода, 1 г кислорода и 1 г углекислого газа?

75. Бертолетова соль $KClO_3$ разлагается при нагревании на хлористый калий и кислород. Сколько литров кислорода при 0° и 760 мм можно получить из 1 моля бертолетовой соли?

76. Взяты равные весовые количества кислорода, водорода и метана при одинаковых условиях. Как будут относиться друг к другу объемы взятых газов?

77. Какой объем занимают при нормальных условиях 11 кг углекислого газа; 1 кг водорода; 16 кг метана?

78. Определите объем, занимаемый одной граммолекулой кислорода при 20° и нормальном давлении.

79. Сколько граммолекул заключает в себе 1 м³ любого газа при нормальных условиях?

80. Какой объем занимают при нормальных условиях $27 \cdot 10^{21}$ молекул газа?

81. Сколько молекул содержится в 1 мл водорода при нормальных условиях?

82. Какой объем занимают при нормальных условиях 4 г метана? Какое количество водорода займет такой же объем при нормальных условиях?

83. Одинаково ли число молекул в 1 г водорода и в 1 г кислорода? В литре водорода и в литре кислорода при одинаковых условиях? В граммолекуле водорода и в граммолекуле кислорода?

84. Имеется литр кислорода при 0° и 760 мм и литр углекислого газа при 27° и 900 мм. В каком из них содержится больше молекул? Во сколько раз?

85. Сколько молекул содержится в 1 мл воды при 4°?

86. Сколько атомов ртути содержится в 1 мл „торичеллиевой пустоты“ при 0°, если давление паров ртути при этой температуре равно 0,0002 мм? Пары ртути одноатомны.

87. Закрытый сосуд, объем которого равен 1 л, содержит 0,25 г азота при 0°. Каково давление газа?

88. В сосуде емкостью 1 л находится 0,05 граммолекулы газа при 0°. Определите давление газа.

89. Какое давление при 0° будут производить 6 г окиси азота NO, находящейся в закрытом сосуде емкостью 2 л?

90. Как велико атмосферное давление на вершине Казбека, если литр воздуха весит там 0,7 г при 0°?

При нормальных условиях литр воздуха весит 1,29 г.

91. Стальной цилиндр емкостью 10 л содержит 1 кг кислорода при 0°. Под каким давлением находится кислород?

92. Сосуд емкостью 7 л содержит 0,4 г водорода и 3,15 г азота при 0°. Определите парциальное давление водорода и общее давление смеси.

5. Вес газа. Плотность газа

Вес любого объема газа, взятого при любых условиях, можно вычислить, исходя или из веса литра газа при нормальных условиях *, или из молекулярного веса газа.

Пример 1. Сколько весят 608 мл кислорода при 25° и 745 мм, если 1 л кислорода при нормальных условиях весит 1,43 г?

Решение. Приводим данный объем газа к нормальным условиям:

$$v_0 = \frac{pv \cdot 273}{p_0 T} = \frac{745 \cdot 608 \cdot 273}{760 (273 + 25)} = 546 \text{ мл, или } 0,546 \text{ л}$$

* Данные имеются в справочниках.

Находим теперь вес (g) вычисленного объема кислорода:

$$g = 1,43 \cdot 0,546 = 0,78 \text{ г}$$

Пример 2. Сколько весит 1 л окиси углерода при нормальных условиях?

Решение. Молекулярный вес окиси углерода 28; следовательно, при нормальных условиях 22,4 л окиси углерода весят 28 г. Отсюда вес литра окиси углерода составляет

$$28 : 22,4 = 1,25 \text{ г}$$

Пример 3. Сколько весят 4 л углекислого газа, взятого при 0° и 665 мм?

Решение. Приводим объем углекислого газа к нормальным условиям:

$$v_0 \cdot 760 = 4 \cdot 665$$

$$v_0 = \frac{4 \cdot 665}{760} = 3,5 \text{ л}$$

Грамммолекула углекислого газа весит 44 г. Обозначив искомый вес через g , составляем пропорцию

$$g : 44 = 3,5 : 22,4$$

откуда

$$g = \frac{44 \cdot 3,5}{22,4} = 6,88 \text{ г}$$

Отношение веса одного газа к весу такого же объема другого газа, взятого при той же температуре и том же давлении, называется плотностью первого газа по второму.

Обозначив плотность газа через D , вес первого газа через g_1 , вес второго через g_2 , можем написать

$$D = \frac{g_1}{g_2}$$

Обычно плотность газа определяют или по водороду, или по воздуху. Так, например, зная, что литр сернистого газа при нормальных условиях весит 2,88 г, литр водорода 0,09 г и литр воздуха 1,29 г, находим плотность сернистого газа:

$$\text{по водороду } D_{H_2} = \frac{2,88}{0,09} = 32$$

$$\text{по воздуху } D_{\text{возд.}} = \frac{2,88}{1,29} = 2,23$$

Между плотностью газа и его молекулярным весом существует очень простая зависимость. Так как равные объемы

двух газов, взятых при одинаковых условиях, содержат одинаковое число молекул, то веса их должны относиться друг к другу как молекулярные веса. Обозначим через g_1 вес первого газа; g_2 — вес второго газа; M_1 — молекулярный вес первого газа; M_2 — молекулярный вес второго газа. Тогда

$$\frac{g_1}{g_2} = \frac{M_1}{M_2}$$

Но $\frac{g_1}{g_2}$ и есть плотность первого газа по второму, которую мы уже раньше обозначили через D . Следовательно

$$D = \frac{M_1}{M_2}$$

Выведенная формула дает возможность находить плотность одного газа по другому, если известны молекулярные веса газов. Чтобы пользоваться этой формулой для вычисления плотности газа по воздуху, представляющему собой смесь нескольких газов, нужно знать средний молекулярный вес воздуха, вычисляемый из плотности воздуха по водороду. Этот вес выражается числом 29.

Таким образом, плотность газа по воздуху

$$D_{\text{возд.}} = \frac{M_1}{29}$$

Если $D_{\text{возд.}} > 1$, это значит, что газ тяжелее воздуха; если $D_{\text{возд.}} < 1$, газ легче воздуха.

Пример 4. Определить плотность аммиака по воздуху.

Решение. Молекулярный вес NH_3 равен 17, средний молекулярный вес воздуха 29. Следовательно, плотность аммиака по воздуху

$$D_{\text{возд.}} = \frac{17}{29} = 0,59$$

Пример 5. Какова плотность по водороду газовой смеси, содержащей (по объему) 75% метана и 25% кислорода?

Решение. Из формул метана (CH_4) и кислорода (O_2) вытекает, что молекулярный вес метана 16, молекулярный вес кислорода 32.

Так как в смеси, согласно условию задачи, на каждые 75 молекул CH_4 приходится 25 молекул O_2 , то средний молекулярный вес смеси равняется

$$\frac{16 \cdot 75 + 32 \cdot 25}{100} = 20$$

Так как молекулярный вес водорода 2, то плотность смеси по водороду

$$D_{H_2} = \frac{20}{2} = 10$$

ЗАДАЧИ

93. При разложении карбоната кальция получено 855 *мл* углекислого газа при 12° и 750 *мм*. Определите вес газа.

94. Исходя из среднего молекулярного веса воздуха, рассчитайте, сколько весит 1 *м³* воздуха при нормальных условиях.

95. Сколько весит литр воздуха при температуре 51° и давлении 700 *мм*, если при нормальных условиях вес литра воздуха равняется 1,29 *г*?

96. Определите вес 20 *л* хлора, взятого при нормальных условиях.

97. В стальном баллоне емкостью 20 *л* находится водород. При 12° давление его равно 125 *ат*. Определите вес водорода.

98. Газометр емкостью 20 *л* наполнен водородом. Давление в газометре 747 *мм* при 27°. Рассчитайте вес водорода, принимая во внимание, что давление водяного пара при этой температуре равно 27 *мм*.

99. В стальном цилиндре емкостью 14 *л* находится кислород при 0° и 80 *ат*. Определите вес кислорода.

100. Сколько весит 1 *л* паров бензола C_6H_6 при нормальном давлении и температуре 117°?

101. Плотность газа по водороду 17. Сколько весит литр этого газа при нормальных условиях? Какова его плотность по воздуху?

102. Плотность светильного газа по воздуху 0,4. Сколько весит 1 *м³* светильного газа при нормальных условиях?

103. Определите вес воздуха, наполняющего комнату размером 5×4×3 *м*, при нормальном давлении и температуре 18°.

104. Рассчитайте плотность по воздуху и вес при нормальных условиях одного литра следующих газов: N_2 ; CO ; F_2 ; H_2S .

105. Сколько весит литр бромистого водорода при нормальных условиях? Какова плотность этого газа по воздуху?

106. Исходя из формулы фосгена $COCl_2$, определите вес литра этого газа при нормальных условиях, его плотность по водороду и по воздуху.

107. Легче или тяжелее воздуха водяной пар? Во сколько раз?

108. Исходя из формулы углекислого газа, определите вес литра этого газа при нормальных условиях, его плотность по водороду и по воздуху.

109. Определите, какие из перечисленных ниже газов легче воздуха и во сколько раз: F_2 ; NH_3 ; CH_4 ; NO_2 ; CO .

110. Какова плотность по воздуху водяного газа, представляющего собой смесь равных объемов водорода и окиси углерода?

111. Плотность газа по воздуху 1,52. Какой объем займут при нормальных условиях 5,5 г этого газа?

112. Определите плотность по водороду и по воздуху следующих газов и паров: метана CH_4 ; закиси азота N_2O ; паров винного спирта C_2H_5OH ; паров диэтилового эфира $(C_2H_5)_2O$.

113. Найдите плотность по воздуху светильного газа, имеющего следующий объемный состав: 48% H_2 ; 35% CH_4 ; 8% CO ; 4% C_2H_4 ; 2% CO_2 ; 3% N_2 .

6. Молекулярный вес вещества в газообразном состоянии

Для вычисления молекулярного веса вещества, находящегося в газообразном состоянии, нужно знать вес, объем, давление и температуру некоторого количества этого вещества. Располагая указанными данными, можно или рассчитать плотность газообразного вещества и по ней найти молекулярный вес, или непосредственно вычислить молекулярный вес, исходя из граммолекулярного объема.

А. Вычисление молекулярного веса газа или пара по его плотности

Из формулы, выражающей зависимость между плотностью газа и его молекулярным весом (стр. 28), непосредственно вытекает, что

$$M_1 = D \cdot M_2$$

т. е. молекулярный вес газа равняется его плотности по отношению к другому газу, умноженной на молекулярный вес второго газа.

Пример. Плотность газа по воздуху 1,17. Определить молекулярный вес газа.

Решение. Подставляя в написанное выше уравнение вместо D число 1,17, а вместо M_2 — средний молекулярный вес воздуха 29, получаем

$$M_1 = 1,17 \cdot 29 = 34$$

*Б. Вычисление молекулярного веса
по граммоллекулярному объему газа или пара*

Так как при нормальных условиях граммоллекула любого газа (или пара) занимает объем 22,4 л, то, вычислив, сколько граммов весят 22,4 л данного газа, мы узнаем вес его граммоллекулы, численно равный молекулярному весу газа.

Пример. При 27° и 800 мм 380 мл газа весят 0,455 г. Определить молекулярный вес газа.

Решение. Приводим данный объем газа к нормальным условиям:

$$v_0 = \frac{800 \cdot 380 \cdot 273}{760 \cdot 300} = 364 \text{ мл}$$

Следовательно, 0,364 л газа весят 0,445 г. Находим, сколько весят 22,4 л:

$$0,364 : 22,4 = 0,455 : x$$

$$x = \frac{22,4 \cdot 0,455}{0,364} = 28 \text{ г}$$

Молекулярный вес газа равняется 28.

ЗАДАЧИ

114. Плотность этилена по кислороду 0,875. Определите молекулярный вес этилена.

115. При некоторой температуре плотность паров серы по азоту равна 9,14. Из скольких атомов состоит молекула серы при этой температуре?

116. Из скольких атомов состоят молекулы паров ртути, если плотность ее пара по воздуху 6,92 (ат. вес ртути 200,6)?

117. Плотность паров фосфора по воздуху 4,28. Из скольких атомов состоит молекула паробразного фосфора?

118. Литр озона весит при нормальных условиях 2,143 г. Определите молекулярный вес озона и его плотность по воздуху.

119. При взвешивании ацетиленов найден, что 200 мл его при нормальных условиях весят 0,232 г. Определите молекулярный вес ацетилена.

120. При нормальных условиях 250 мл газа весят 0,903 г. Определите плотность газа по воздуху и молекулярный вес газа.

121. Литр некоторого газа весит при нормальных условиях 1,52 г, а литр азота 1,25 г. Рассчитайте молекулярный вес газа, исходя: а) из его плотности относительно азота; б) из граммоллекулярного объема.

122. При 17° и 780 мм 624 мл газа весят $1,56 \text{ г}$. Вычислите молекулярный вес газа.

123. Найдите молекулярный вес вещества, зная, что 380 мл его паров при 97° и 740 мм весят $1,9 \text{ г}$.

7. Уравнение состояния газа и его применение при расчетах

В приведенном ранее уравнении

$$pv = \frac{p_0 v_0 \cdot T}{273}$$

величина $\frac{p_0 v_0}{273}$ зависит как от массы взятого газа, так и от его природы (для одной и той же массы различных газов v_0 имеет разное значение). Но если отнести указанное уравнение к количеству газа, равному одной граммамолекуле, то величина $\frac{p_0 v_0}{273}$ станет одинаковой для всех газов, так как граммамолекула любого газа занимает при нормальных условиях один и тот же объем ($22,4 \text{ л}$). При этих условиях величина $\frac{p_0 v_0}{273}$ называется *универсальной газовой постоянной* и обозначается буквой R .

Вводя обозначение R в предыдущее уравнение, получаем уравнение, отнесенное к одной граммамолекуле газа

$$pv = RT$$

Это уравнение называется уравнением состояния газа.

Для n граммамолекул газа уравнение принимает вид

$$pv = n \cdot RT$$

Но число граммамолекул газа равно весу или массе газа (m), выраженной в граммах, деленной на молекулярный вес газа (M)

$$n = \frac{m}{M}$$

Заменяя в предыдущем уравнении n на $\frac{m}{M}$, получаем

$$pv = \frac{m}{M} \cdot RT$$

Выведенное уравнение дает возможность вычислить любую из входящих в него величин, если известны остальные.

Числовое значение R зависит от того, в каких единицах выражены объем и давление. Если выразить объем v_0 в литрах, а давление p_0 в атмосферах, то R будет равняться 0,082:

$$R = \frac{1 \cdot 22,4}{273} = 0,082 \text{ л} \cdot \text{атм/град}$$

Выразив объем в миллилитрах, а давление в миллиметрах ртутного столба, получим для R значение 62 400

$$R = \frac{760 \cdot 22\,400}{273} \approx 62\,400 \text{ мм} \cdot \text{мл/град}$$

Следует заметить, что уравнением состояния газа целесообразно пользоваться для расчетов в тех случаях, когда давление и температура газа отличаются от нормальных. Если же газ взят при нормальных условиях, то проще и легче вычислить его вес, объем или молекулярный вес, исходя непосредственно из граммолекулярного объема.

Пример 1. Вычислить молекулярный вес бензола, зная, что 600 мл его паров при 87° и 624 мм весят 1,3 г.

Решение. Из уравнения состояния газа, отнесенного к любому количеству газа, определяем M :

$$M = \frac{m \cdot RT}{pv}$$

Подставляя в эту формулу указанные в условии задачи значения соответствующих величин, получаем

$$M = \frac{1,3 \cdot 62\,400 \cdot 360}{624 \cdot 600} = 78$$

Пример 2. Стальной цилиндр емкостью 20,5 л наполнен кислородом. При 17° давление в цилиндре равно 87 ат. Определить вес кислорода.

Решение. Согласно уравнению, приведенному выше, вес газа

$$m = \frac{pv \cdot M}{RT}$$

По условию задачи $p = 87 \text{ ат}$, $v = 20,5 \text{ л}$, $T = 273 + 17 = 290^\circ$. Молекулярный вес кислорода 32. Подставляя эти данные в формулу и имея в виду, что объем выражен в литрах, а давление в атмосферах (следовательно, $R = 0,082$), получаем

$$m = \frac{87 \cdot 20,5 \cdot 32}{0,082 \cdot 290} = 2400 \text{ г}$$

ЗАДАЧИ

124. При температуре 39° и давлении 741 мм 640 мл газа весят 1,73 г. Определите молекулярный вес газа.

125. Сколько весит 1 м³ воздуха при 17° и 624 мм?

126. Вычислите вес 1 м³ углекислого газа при 27° и 1,5 ат.

127. Газометр емкостью 20 л наполнен светильным газом. Плотность светильного газа по воздуху 0,4, давление 1,025 ат, температура 17° . Вычислите вес светильного газа.

128. Какой объем займет при 17° и 1 ат 1 кг воздуха?

129. Определите объем, занимаемый 80 г кислорода при 17° и 1,5 ат.

130. Колба емкостью 750 мл, наполненная кислородом при 27° , весит 83,3 г. Вес пустой колбы 82,1 г. Определите давление кислорода.

131. Какой объем займет 1 кг углекислого газа при -9° и 1,64 ат?

132. Вычислите молекулярный вес хлороформа, зная, что 350 мл его паров при 91° и 728 мм весят 1,34 г.

133. Каков молекулярный вес ацетона, если 500 мл паров ацетона при 87° и 720 мм весят 0,93 г?

ГЛАВА III

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АТОМНЫХ ВЕСОВ

При вычислении атомных весов за единицу веса принимают $1/16$ часть веса атома кислорода. Эта единица измерения атомного веса называется *кислородной единицей*.

$$1 \text{ г} = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ кислор. ед.}$$

Атомный вес элемента есть вес его атома, выраженный в кислородных единицах.

Аналогично этому и молекулярный вес вещества можно определить как вес его молекулы, выраженный в кислородных единицах.

1. Определение атомного веса элемента по молекулярным весам его соединений

Для определения атомного веса по этому методу сперва находят молекулярный вес возможно большего числа соединений данного элемента. Определив затем весовой состав тех же соединений, вычисляют, сколько кислородных единиц весит количество элемента, содержащееся в одной молекуле каждого из его соединений. Наименьшее из этих количеств при условии, что все остальные количества кратны ему, принимается за атомный вес элемента.

Пример. Определить атомный вес фосфора, исходя из весового состава и молекулярного веса следующих его соединений:

Название соединения	Молекулярный вес	Содержание фосфора в %
Фосфорный ангидрид	284	43,66
Фосфин	34	91,18
Пиррофосфорная кислота	178	34,83
Фосфористый ангидрид	220	56,36

Решение. Вычисляем, сколько кислородных единиц весит количество фосфора, входящее в состав одной молекулы каждого из перечисленных соединений.

Молекула фосфорного ангидрида весит 284 ксилор. ед., из которых на долю фосфора приходится 43,66%. Следовательно, входящий в состав молекулы фосфорного ангидрида фосфор весит

$$\frac{284 \cdot 43,66}{100} = 124 \text{ ксилор. ед.}$$

Подобным же образом находим количество фосфора в молекулах остальных соединений:

В фосфине	31 ксилор. ед.
• пиррофосфорной кислоте	62
• фосфористом ангидриде	124

Из полученных данных видно, что наименьшее количество фосфора содержится в молекуле фосфина, где оно равно 31 ксилор. ед. Это число и является атомным весом фосфора.

2. Определение атомного веса по атомной теплоемкости элемента

Атомной теплоемкостью элемента называется произведение его атомного веса на удельную теплоемкость * соответствующего простого вещества.

Атомная теплоемкость большинства простых твердых веществ приблизительно одинакова и равна в среднем 6,3 (правило Дюлонга и Пти).

Отсюда следует, что, определив удельную теплоемкость простого вещества и разделив на нее 6,3, мы получим величину, близкую к атомному весу соответствующего элемента:

$$\text{атомный вес} = \frac{6,3}{\text{уд. теплоемкость}}$$

Пример 1. Удельная теплоемкость цинка 0,093. Рассчитать приблизительный атомный вес цинка (A).

Решение

$$A = \frac{6,3}{0,093} = 67,7$$

Точный атомный вес цинка 65,38.

* Удельная теплоемкость есть количество тепла (в малых калориях), необходимое для нагревания 1 г вещества на 1°.

Описанные методы позволяют находить лишь приближенные величины атомных весов. Чтобы установить точный атомный вес элемента, нужно еще знать эквивалент элемента, который определяется с большой точностью экспериментальным путем. Между эквивалентом элемента и его атомным весом существует определенная зависимость: атомный вес равен эквиваленту элемента, умноженному на валентность того же элемента

$$\text{атомный вес} = \text{эквивалент} \times \text{валентность}$$

Так как валентность всегда выражается целым числом, то, разделив приблизительный атомный вес на эквивалент и округлив полученное частное до ближайшего целого числа, мы найдем валентность элемента. Умножив затем эквивалент на валентность, получим точную величину атомного веса.

Пример 2. Окисел титана содержит 59,95% титана. Удельная теплоемкость титана 0,13. Установить точный атомный вес титана.

Решение. 1. Исходя из атомной теплоемкости, найдем приблизительный атомный вес титана (A):

$$A = \frac{6,3}{0,13} = 48,5$$

2. Вычисляем обычным путем эквивалент титана (\mathcal{E}) из пропорции

$$59,95 : 40,05 = \mathcal{E} : 8$$
$$\mathcal{E} = \frac{59,95 \cdot 8}{40,05} = 11,975$$

3. Определяем валентность титана делением приблизительного атомного веса на эквивалент:

$$\frac{48,5}{11,975} = 4,05$$

Валентность титана равна 4.

4. Находим точный атомный вес титана, умножая эквивалент на валентность:

$$11,975 \cdot 4 = 47,9$$

Точный атомный вес титана 47,90.

ЗАДАЧИ

134. Выразите в кислородных единицах вес углерода, входящего в состав молекулы каждого из следующих соединений:

Название соединения	Молекулярный вес	Содержание углерода в %
Глюкоза	180	40
Винная кислота	150	32
Пропиловый спирт	60	80

135. Анилин содержит 77,4% углерода. Молекулярный вес анилина 93. Рассчитайте, сколько кислородных единиц весят атомы углерода в молекуле анилина и установите число этих атомов в молекуле.

136. Плотность пара толуола по водороду 46, а весовое содержание углерода в толуоле составляет 91,3%. Определите, сколько атомов углерода входит в состав молекулы толуола.

137. Найдите число атомов хлора в молекуле хлороформа, исходя из следующих данных: плотность пара хлороформа по воздуху 4,12, весовое содержание хлора 89,1%, атомный вес хлора 35,5.

138. Определите атомный вес ванадия, исходя из весового состава и молекулярного веса следующих соединений ванадия:

Название соединения	Молекулярный вес	Содержание ванадия в %
Оксид ванадия	67	76,1
Ванадиевый ангидрид	182	56,0
Фторид ванадия	108	47,2
Сульфид ванадия	198	51,5

139. Рассчитайте атомный вес кремния, исходя из весового состава и плотности по водороду следующих газообразных соединений кремния:

Название соединения	Плотность по водороду	Содержание кремния в %
Силап	16	87,5
Дисилап	31	90,3
Трисилап	46	91,3
Фторид кремния	52	26,9

140. Установите атомный вес серы, исходя из плотности по водороду и весового состава следующих соединений серы:

Название соединения	Плотность по водороду	Содержание серы в %
Сероводород	17	94,1
Сернистый газ	32	50,0
Сероуглерод	88	84,2
Монохлорид серы	67,5	47,4
Сероокись углерода	80	53,3

141. Пользуясь таблицей атомных весов, найдите атомные теплоемкости следующих металлов:

Металл	Al	Ca	Ni	Hg	Cd
Удельная теплоемкость . .	0,22	0,15	0,11	0,03	0,06

142. Какой металл имеет большую удельную теплоемкость: свинец или олово? Ответ подтвердите расчетом.

143. Определите точный атомный вес вольфрама, зная, что его эквивалент равен 30,65, а удельная теплоемкость 0,035.

144. Эквивалент металла 23,24; удельная теплоемкость 0,09. Определите точный атомный вес металла.

145. Окись никеля содержит 70,97% Ni. Удельная теплоемкость никеля 0,11. Определите точный атомный вес никеля.

146. При окислении 2,28 г металла образовалось 3,78 г окисла. Удельная теплоемкость металла 0,25. Определите точный атомный вес металла.

147. Хлорид металла содержит 44,76% Cl. Удельная теплоемкость металла 0,074. Определите точный атомный вес металла.

148. Сульфид металла содержит 64,72% металла. Удельная теплоемкость металла 0,11. Определите точный атомный вес металла, зная, что эквивалент серы 16.

149. При растворении 2 г металла в серной кислоте получено 4,51 г сульфата. Удельная теплоемкость металла 0,057. Определите валентность металла и его точный атомный вес.

150. 1,48 г металла вытесняют из кислоты 0,589 л водорода, измеренного при нормальных условиях. Удельная теплоемкость металла 0,11. Установите точный атомный вес металла.

151. При прокаливании 2 г металла получилось 2,539 г окисла, в котором металл четырехвалентен. Рассчитайте по этим данным атомный вес металла.

152. Окисел пятивалентного элемента содержит 56,33% кислорода. Рассчитайте атомный вес элемента.

ГЛАВА IV

ВЫВОД ХИМИЧЕСКИХ ФОРМУЛ

Химическая формула вещества показывает, из каких элементов состоит данное вещество и сколько атомов каждого элемента входит в состав его молекулы.

Различают формулы простейшие, или эмпирические, и истинные, или молекулярные.

Простейшая формула выражает наиболее простой возможный атомный состав молекул вещества, соответствующий весовым отношениям между образующими вещество элементами.

Истинная формула показывает действительное число атомов каждого элемента в молекуле.

1. Вывод простейших формул

Для вывода простейшей формулы сложного вещества достаточно знать его весовой состав и атомные веса образующих данное вещество элементов.

Пример 1. Вывести формулу окиси хрома, содержащей 68,4% хрома и 31,6% кислорода (ат. вес хрома 52).

Решение. Обозначим число атомов хрома в молекуле его окиси через x , а число атомов кислорода через y . Так как атом хрома весит 52 кислор. ед., а атом кислорода 16 кислор. ед., то общий вес атомов хрома, содержащихся в молекуле, будет равняться $52x$, а атомов кислорода $16y$. Отношение этих весов выражает состав молекулы окиси хрома, а следовательно, и состав всего вещества. С другой стороны, этот же состав выражается отношением 68,4 : 31,6.

Приравняв оба отношения, получаем пропорцию

$$52x : 16y = 68,4 : 31,6$$

Освобождаемся от коэффициентов при x и y путем деления предыдущих членов обоих отношений на коэффициент при x и последующих членов на коэффициент при y :

$$x : y = \frac{68,4}{52} : \frac{31,6}{16} = 1,32 : 1,98$$

Полученная пропорция показывает, что в молекуле окиси хрома на 1,32 атома хрома приходится 1,98 атома кислорода. Но в молекуле может содержаться только целое число атомов. Чтобы выразить отношение $x : y$ целыми числами, делим сначала оба члена второго отношения на меньший из них:

$$x : y = \frac{1,32}{1,32} : \frac{1,98}{1,32} = 1 : 1,5$$

Умножив затем оба члена второго отношения на 2, получим

$$x : y = 2 : 3$$

Таким образом, в молекуле окиси хрома на каждые 2 атома хрома приходится 3 атома кислорода. Этому условию удовлетворяет ряд формул: Cr_2O_3 , Cr_4O_6 , Cr_6O_9 и т. д. Так как молекулярный вес окиси хрома нам неизвестен, то нельзя сказать, которая из этих формул выражает действительный состав молекулы. Принимая для x и y наименьшие целые значения ($x = 2$, $y = 3$), получаем простейшую формулу окиси хрома Cr_2O_3 .

Подобным же образом производится расчет простейшей формулы, если вещество состоит не из двух, а из трех и более элементов.

Пример 2. При полном сжигании 2,66 г некоторого вещества получилось 1,54 г углекислого газа и 4,48 г сернистого газа. Установить формулу вещества.

Решение. Состав продуктов горения показывает, что сгоревшее вещество состояло из углерода и серы. Кроме этих двух элементов, в состав его мог еще входить кислород.

Чтобы вывести простейшую формулу вещества, нужно определить весовое отношение между образующими его элементами. Так как весь углерод сгоревшего вещества вошел в состав углекислого газа, то, рассчитав, сколько граммов углерода содержится в 1,54 г углекислого газа, мы тем самым определим его содержание в 2,66 г сгоревшего вещества.

Граммолькула CO_2 весит 44 г и содержит 12 г углерода. Количество углерода (x), содержащееся в 1,54 г CO_2 , находим из пропорции

$$44 : 12 = 1,54 : x$$

$$x = \frac{12 \cdot 1,54}{44} = 0,42 \text{ г}$$

Вычисляя аналогичным путем количество серы, содержащееся в 4,48 г сернистого газа, получаем 2,24 г.

Таким образом, мы установили, что в сгоревшем веществе на 0,42 г углерода приходилось 2,24 г серы. Так как сумма этих двух весов равняется общему весу сгоревшего вещества ($0,42 + 2,24 = 2,66$), то, очевидно, кислорода в нем не содержалось.

Из полученных данных, как и в примере 1, вычисляем отношение между числом атомов углерода (x) и серы (y) в молекуле сгоревшего вещества:

$$x : y = \frac{0,42}{12} : \frac{2,24}{32} = 0,035 : 0,070 = 1 : 2$$

Таким образом, простейшая формула вещества: CS_2 .

2. Вывод истинных формул

Чтобы установить истинную формулу сложного вещества, необходимо, кроме состава вещества, знать еще и его молекулярный вес.

Пример. Анализ уксусной кислоты показывает, что в ней на 2,1 вес. ч. углерода приходится 0,35 вес. ч. водорода и 2,8 вес. ч. кислорода. Плотность пара уксусной кислоты по водороду 30, следовательно, ее молекулярный вес равняется $30 \cdot 2 = 60$. Требуется вывести молекулярную формулу уксусной кислоты.

Решение. Как и в предыдущем случае, сперва находим отношение между числом атомов углерода (x), водорода (y) и кислорода (z) в молекуле уксусной кислоты ($\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z$):

$$x : y : z = \frac{2,1}{12} : \frac{0,35}{1} : \frac{2,8}{16} = 0,175 : 0,35 : 0,175$$

Разделив все три члена второй половины равенства на 0,175, получим

$$x : y : z = 1 : 2 : 1$$

Простейшая формула уксусной кислоты: CH_2O .

Вычисляем теперь, каков был бы молекулярный вес уксусной кислоты, если бы простейшая формула отвечала действительному составу ее молекул. Получаем число 30. Но найденный опытным путем молекулярный вес уксусной кислоты равен 60, т. е. вдвое больше вычисленного. Отсюда заключаем, что в молекуле уксусной кислоты вдвое больше атомов, чем показывает простейшая формула. Следовательно, ее истинная (молекулярная) формула $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$.

Истинные формулы многих газообразных веществ, вступающих в реакцию с другими газами, могут быть установлены также путем измерения объемов и определения состава газообразных продуктов реакции (см. гл. II, 3).

Во многих случаях простейшая формула является в то же время и истинной. Например, простейшая формула сероуглерода CS_2 соответствует найденному из опыта молекулярному весу сероуглерода (76) и, следовательно, выражает действительный атомный состав его молекул.

ЗАДАЧИ

153. Выведите формулу окисла ванадия, зная, что 2,73 г окисла содержат 1,53 г металла.

154. Выведите простейшую формулу вещества, содержащего 63,64% азота и 36,36% кислорода.

155. Выведите простейшую формулу вещества, в состав которого входят водород, углерод, кислород и азот в весовом отношении 1 : 3 : 4 : 7.

156. Выведите простейшую формулу вещества, содержащего 43,4% Na; 11,3% C и 45,3% O.

157. Выведите формулу кристаллогидрата хлористого кальция, зная, что 7,3 г кристаллогидрата теряют при обезвоживании 3,6 г воды.

158. Выведите формулу кристаллогидрата соды, зная, что при прокаливании 14,3 г кристаллогидрата получается 5,3 г безводной соды Na_2CO_3 .

159. Установите формулу кристаллогидрата, содержащего 9,8% Mg, 13% S, 26% O и 51,2% воды.

160. Кристаллогидрат некоторой соли содержит 18,6% Na, 25,8% S, 19,4% O и 36,2% воды. Выведите формулу кристаллогидрата.

161. Какова простейшая формула силиката, содержащего 40% MgO и 60% SiO_2 ?

162. Выведите формулу минерала, содержащего 78% ZnO и 27% SiO_2 .

163. Выведите молекулярную формулу вещества, содержащего 93,75% С и 6,25% Н, если плотность пара этого вещества по воздуху 4,41.

164. Выведите молекулярную формулу вещества, в котором на 1 вес. ч. водорода приходится 6 вес. ч. углерода и 8 вес. ч. кислорода, если молекулярный вес вещества 180.

165. Выведите молекулярную формулу вещества, содержащего 84,2% S и 15,8% С. Плотность пара этого вещества по воздуху 2,62.

166. Выведите молекулярную формулу масляной кислоты, содержащей 54,5% С; 36,4% О и 9,1% Н, если плотность ее пара по водороду 44.

167. Выведите молекулярную формулу анилина, содержащего 77,4% С; 7,5% Н и 15,1% N. Плотность пара анилина по воздуху 3,21.

168. При сжигании органического вещества, состоящего из углерода, водорода и серы, получено 2,64 г углекислого газа, 1,62 г воды и 1,92 г сернистого газа. Выведите формулу этого вещества.

169. При сжигании 4,3 г углеводорода образовалось 13,2 г углекислого газа. Плотность пара углеводорода по водороду 43. Выведите молекулярную формулу углеводорода.

170. При сжигании 6,2 г кремневодорода получено 12 г двуокиси кремния SiO_2 . Плотность кремневодорода по воздуху 2,14. Выведите молекулярную формулу кремневодорода.

171. При полном сгорании 13,8 г органического вещества получилось 26,4 г углекислого газа и 16,2 г воды. Плотность пара этого вещества по водороду 23. Выведите молекулярную формулу вещества.

172. Для установления формулы газообразного углеводорода 5 мл его были смешаны с 12 мл кислорода и смесь была взорвана в эвдиометре*. После конденсации образовавшегося водяного пара объем газообразного остатка (углекислый газ и избыток кислорода) равнялся 7 мл, а после обработки его щелочью для поглощения углекислого газа уменьшился до 2 мл. Все измерения производились при одинаковых условиях. Найдите формулу углеводорода.

173. При взрыве 1 объема некоторого газа с 2 объемами кислорода образуется 2 объема углекислого газа и 1 объем азота. Найдите формулу неизвестного газа.

* Эвдиометр — стеклянная трубка с делениями, запаянная с одного конца, а другим концом погруженная в ртуть.

ГЛАВА V

ВАЛЕНТНОСТЬ. СОСТАВЛЕНИЕ ФОРМУЛ ПО ВАЛЕНТНОСТИ

Валентностью элемента называется способность его атомов присоединять к себе (или замещать в молекулах различных соединений) определенное число атомов других элементов. Мерой валентности служит число атомов водорода, которое атом данного элемента может присоединить или заместить. Атом одновалентного элемента всегда присоединяет к себе или замещает только один атом другого одновалентного элемента; атом двухвалентного элемента может присоединить или заместить два атома одновалентного элемента или один атом другого двухвалентного элемента и т. д. Поэтому о валентности элемента можно судить по составу его соединения не только с водородом, но и с любым другим элементом, валентность которого известна. Например, в соединении Na_2S сера двухвалентна, так как атом ее связан с двумя атомами одновалентного элемента натрия.

Наконец, валентность элемента в данном соединении можно определить из соотношения между атомным весом элемента, его эквивалентом и валентностью:

$$\text{валентность} = \frac{\text{атомный вес}}{\text{эквивалент}}$$

Знание валентности элементов позволяет быстро составлять формулы химических соединений, образованных двумя элементами.

В простейшем случае, когда один из образующих соединение элементов одновалентен, валентность второго элемента непосредственно указывает, сколько атомов первого элемента приходится на один атом второго в молекуле данного соединения. Например, зная, что алюминий трехвалентен, а хлор в соединениях с металлами всегда одновалентен, мы можем сразу написать формулу хлорида алюминия: AlCl_3 .

В более сложных случаях для составления формулы соединения нужно подобрать число атомов каждого элемента так, чтобы произведение числа атомов одного элемента на его валентность равнялось произведению числа атомов второго элемента на его валентность. Иначе говоря, надо найти наименьшее кратное валентностей обоих элементов. Частное от деления наименьшего кратного на валентность каждого элемента и даст число его атомов в молекуле данного соединения.

Пример 1. Составить формулу хлорного ангидрида, зная, что хлор в нем семивалентен, а кислород двухвалентен.

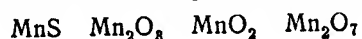
Решение. Находим наименьшее кратное чисел 2 и 7, равное 14. Разделив 14 на 7, получаем число атомов хлора в молекуле хлорного ангидрида. Деление 14 на 2 дает число атомов кислорода. Формула хлорного ангидрида: Cl_2O_7 .

Пример 2. Составить формулу сульфида висмута, зная, что висмут трехвалентен, а сера в соединениях с металлами двухвалентна.

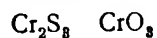
Решение. Так как наименьшее кратное чисел 2 и 3 равно 6, то число атомов висмута в молекуле его сульфида должно равняться трем, а число атомов серы — двум. Формула сульфида висмута: Bi_2S_3 .

ЗАДАЧИ

174. Найдите валентность марганца в соединениях

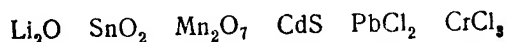


и валентность хрома в соединениях

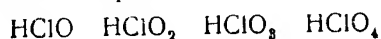


175. Определите валентность никеля в окиси никеля, если эквивалент его в этом соединении равен 19,57 (ат. вес никеля 58,71).

176. Укажите валентности металлов в следующих соединениях:



177. Определите валентность хлора в следующих кислотах, имея в виду, что валентность его та же, что и в соответствующих этим кислотам ангидридах:

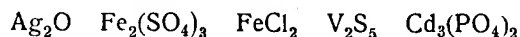


178. Определите валентность серы в H_2SO_4 , валентность марганца в HMnO_4 и валентность кремния в H_2SiO_3 , имея в виду, что валентность их та же, что и в соответствующих этим кислотам ангидридах.

179. Определите валентность иода в соединении, содержащем на 25,4 вес. ч. иода 0,2 вес. ч. водорода и 12,8 вес. ч. кислорода.

180. Хлорид металла содержит 69% хлора. Атомный вес металла 47,9. Определите валентность металла в этом соединении.

181. Найдите эквиваленты металлов в следующих соединениях:



182. Определите эквивалент хлора в соединении, содержащем 38,8% Cl и 61,2% O. По найденному эквиваленту установите валентность хлора в этом соединении.

183. Составьте формулы окислов следующих элементов (валентность указана римскими цифрами):

i	ii	iii	iv	v	vi	vii	viii
Ag	Ba	Al	Ti	Nb	Mo	J	Os

184. Руководствуясь таблицей периодической системы, составьте формулы высших окислов ванадия, хрома и марганца.

185. Составьте формулы хлоридов и сульфидов двухвалентного марганца, четырехвалентного олова и пятивалентной сурьмы.

ГЛАВА VI

КЛАССИФИКАЦИЯ НЕОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Неорганические соединения делятся на пять главных классов: окислы, кислоты, основания, амфотерные гидроксиды и соли.

1. Окислы

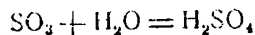
Окислами называются все соединения, состоящие из кислорода и какого-нибудь элемента. Если элемент образует только один окисел, то его называют *окисью*, если два окисла, то низший (т. е. содержащий относительно меньше кислорода) называется *закисью*, высший — *окисью*. Окислы, в которых на один атом элемента приходится два или более атомов кислорода, часто называются *двуокисями*, *трехокисями* и т. д.

Большинство окислов или непосредственно, или косвенным путем образует соединения с водой, носящие общее название *гидратов окислов* или *гидроокисей*. При нагревании почти все гидроокисиды разлагаются на окисел и воду.

Гидроокисиды в зависимости от их свойств относятся или к классу кислот, или к классу оснований. Кроме того, существуют гидроокисиды, обладающие одновременно и свойствами кислот и свойствами оснований; они называются *амфотерными гидроокисидями*. В соответствии с этим и окислы, образующие гидраты, делятся на три группы: кислотные, основные и амфотерные.

А. Кислотные окислы

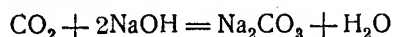
Так называются окислы, гидраты которых являются кислотами. Это главным образом окислы металлоидов, хотя некоторые высшие окислы металлов тоже являются кислотными (например, CrO_3 , Mn_2O_7 и др.). Многие кислотные окислы непосредственно соединяются с водой, образуя кислоты, например



Гидраты других кислотных окислов получают косвенным путем.

Кислотные окислы обычно называются *ангидридами* соответствующих кислот (например, P_2O_5 — ангидрид фосфорной кислоты или просто фосфорный ангидрид).

Главный отличительный признак кислотных окислов — их способность взаимодействовать со щелочами с образованием солей, например

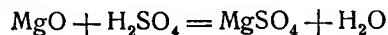


Кислоты, как правило, не взаимодействуют с кислотными окислами.

Б. Основные окислы

К этой группе принадлежат окислы, гидраты которых являются основаниями. Основные окислы образуются исключительно металлами. Только окислы наиболее активных металлов (K, Na, Ca и др.) непосредственно соединяются с водой, образуя растворимые в воде основания — щелочи. Большинство же основных окислов не взаимодействует с водой, соответствующие им основания получают косвенным путем и нерастворимы в воде.

Все основные окислы взаимодействуют с кислотами с образованием солей (но не взаимодействуют со щелочами), например



В. Амфотерные окислы

Эти окислы обладают одновременно свойствами и кислотных и основных окислов. Они взаимодействуют и с кислотами и со щелочами с образованием солей.

Ввиду того что все окислы рассмотренных трех групп обладают свойством образовывать соли, их часто объединяют под общим названием *солеобразующих окислов*.

Г. Безразличные окислы

Кроме солеобразующих окислов, известно еще небольшое число окислов, которые ни прямым, ни косвенным путем не образуют гидратов и не взаимодействуют ни с кислотами, ни со щелочами. Такие окислы называются *безразличными*. Примером может служить окись азота NO.

Д. Перекиси

Особую группу окислов образуют так называемые перекиси. Это соединения некоторых металлов с кислородом, которые только формально (по их составу) могут быть отнесены к классу окислов, по существу же являются солями перекиси водорода, например: Na_2O_2 — перекись натрия, BaO_2 — перекись бария и др.

2. Кислоты

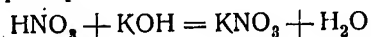
Соединяясь с водой, окислы металлоидов образуют вещества, относящиеся к классу кислот.

Большинство кислот является гидратами окислов и поэтому, кроме водорода, содержит также и кислород. Такие кислоты называются *кислородными кислотами* (например, H_2SO_4) в отличие от *бескислородных кислот*, не содержащих кислорода (HCl и др.).

Водные растворы кислот имеют кислый вкус и окрашивают лакмус в красный цвет.

По числу атомов водорода в молекуле кислоты, способных замещаться металлами, различают кислоты *одноосновные* (например, HNO_3), *двухосновные* (например, H_2SO_4), *трехосновные* (например, H_3PO_4) и т. д.

Все кислоты взаимодействуют со щелочами с образованием солей, например



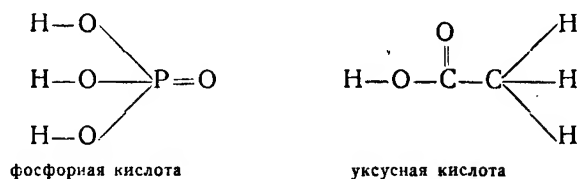
Если от молекулы кислоты мысленно отнять один или несколько атомов водорода, способных замещаться металлами, то останется группа атомов (а иногда и один атом), носящая название *кислотного остатка* и участвующая в химических реакциях как единое целое. Например, серная кислота H_2SO_4 дает два кислотных остатка: HSO_4 и SO_4 ; фосфорная кислота H_3PO_4 дает три кислотных остатка: H_2PO_4 , HPO_4 и PO_4 . На этом основании молекулы всех кислот можно рассматривать как состоящие из атомов водорода и кислотных остатков.

У перечисленных выше кислот все атомы водорода могут быть замещены металлом, так что их основность прямо определяется числом атомов водорода в молекуле. Но существуют и такие кислоты, у которых не весь водород может быть замещен металлом. Так, например, в уксусной кислоте CH_3COOH из четырех атомов водорода только один заме-

щается металлом. Поэтому уксусная кислота, хотя и содержит в молекуле четыре атома водорода, является кислотой одноосновной.

Указанное различие в свойствах отдельных кислот объясняется различием в строении их молекул. Оказывается, что в молекулах кислородных кислот только те атомы водорода способны замещаться металлами, которые связаны с атомами кислорода.

В подтверждение этого положения приведем, например, структурные формулы: а) фосфорной кислоты, в которой весь водород может быть замещен металлом; б) уксусной кислоты, в которой только $1/4$ часть водорода замещается металлом:

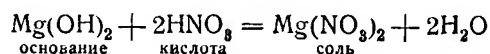


Из формул видно, что в молекуле фосфорной кислоты все атомы водорода связаны с атомами кислорода; в молекуле же уксусной кислоты три атома водорода связаны с атомами углерода и только один — с атомом кислорода. Только этот атом водорода и замещается металлом.

3. Основания

Основаниями называются гидраты окислов, взаимодействующие с кислотами с образованием солей (но не взаимодействующие со щелочами).

В состав молекулы всякого основания входит атом металла и одна или несколько гидроксильных групп — OH, например NaOH, Mg(OH)₂, Bi(OH)₃. При действии кислоты на основание гидроксильные группы замещаются кислотными остатками, и, таким образом, получается соль, например



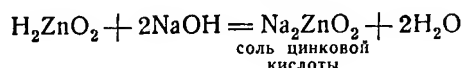
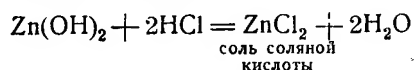
Большинство оснований нерастворимо в воде. Растворяются лишь основания, образованные наиболее активными металлами, как, например, NaOH, Ca(OH)₂. Такие основа-

ния называются *щелочами*. Растворы их имеют мыльный вкус и окрашивают лакмус в синий цвет, а фенолфталеин — в малиновый.

Атомы или группы атомов, которые останутся от молекул оснований, если отнять от них одну, две или все гидроксильные группы, по аналогии с кислотными остатками могут быть названы *основными остатками*. Например, отнимая последовательно гидроксильные группы от молекулы $\text{Cu}(\text{OH})_2$, получаем следующие основные остатки: CuOH и Cu .

4. Амфотерные гидроокиси

Существуют гидроокиси, которые могут взаимодействовать как с кислотами (подобно основаниям), так и со щелочами (подобно кислотам), образуя и в том и в другом случае соли. Такие гидроокиси, обладающие двойственными свойствами, называются *амфотерными гидроокисями*. Примером может служить $\text{Zn}(\text{OH})_2$:



В первой реакции гидроокись цинка играет роль основания, во второй — роль кислоты.

5. Соли

Солями называются вещества, которые можно рассматривать как продукты замещения водорода в кислотах основными остатками (в частности — атомами металлов) или как продукты замещения гидроксидов в основаниях кислотными остатками. Таким образом, молекулы всех солей состоят из кислотных и основных остатков.

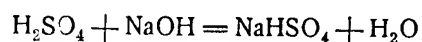
Большинство солей — вещества твердые и кристаллические.

Различают следующие главные виды солей:

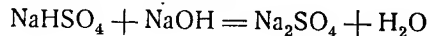
А. *Нормальные, или средние соли* — продукты полного замещения атомов водорода в молекулах кислот атомами металлов или гидроксильных групп в молекулах оснований кислотными остатками, например



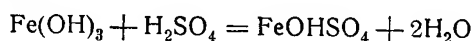
Б. Кислые соли — продукты неполного замещения водорода в молекулах кислот атомами металлов, например, NaHSO_4 , KHPO_4 . Кислые соли получаются при взаимодействии кислот с основаниями в тех случаях, когда количество взятого основания недостаточно для образования средней соли:



Таким образом, кислые соли еще содержат в своем составе водород, способный замещаться металлами. Действуя на кислую соль достаточным количеством соответствующего основания, можно заместить в ней водород металлом и получить среднюю соль, например



В. Основные соли — продукты неполного замещения гидроксидов в основаниях кислотными остатками, например CuOHCl ; $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$. Основные соли получаются в тех случаях, когда при взаимодействии кислоты с основанием взятого количества кислоты оказывается недостаточно для образования средней соли. Так, например, если при действии серной кислоты на гидрат окиси железа взять на один моль $\text{Fe}(\text{OH})_3$ один моль H_2SO_4 , то может образоваться основная соль:



Чтобы превратить основную соль в среднюю, надо подействовать на нее таким количеством соответствующей кислоты, которого было бы достаточно для замещения всех гидроксидов кислотными остатками.

6. Номенклатура солей

Для обозначения солей в Советском Союзе пользуются как русской, так и международной номенклатурой.

Согласно русской номенклатуре, название соли образуется из названия кислоты или металлоида (представляющего собой кислотный остаток данной кислоты) и названия металла, образующего соль. Так, например, соль серной кислоты и металла меди (CuSO_4) называется сернокислой медью, соль соляной кислоты и металла натрия (NaCl) — хлористым натрием и т. д.

Если имеют в виду кислую соль, то перед названием соли непременно ставится слово «кислый». Таким образом,

соли NaHSO_4 , KH_2PO_4 и K_2HPO_4 соответственно называются «кислый сернокислый натрий», «кислый фосфорнокислый калий однозамещенный», «кислый фосфорнокислый калий двузамещенный».

В случае основных солей к названию соли прибавляется слово «основной». Например, соль MgOHCl называется «основной хлористый магний», соль $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$ — «основная углекислая медь».

Международная номенклатура солей построена следующим образом: соли каждой кислоты имеют общее название, которое производится от латинского названия кислоты или образующего ее металлоида. Например, все соли серной кислоты называются с у л ь ф а т а м и, соли фосфорной кислоты — ф о с ф а т а м и, соли соляной кислоты — х л о р и д а м и и т. д. Название отдельной соли производится от общего названия солей соответствующей кислоты и названия металла, образующего соль:

CuSO_4 — сульфат меди

$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ — фосфат кальция

NaCl — хлорид натрия

Названия кислых солей составляются так же, только к общему названию соли добавляется слово «гидро», если в молекуле соли остался незамещенным один атом водорода, или — «дигидро», если незамещенными остались два атома водорода:

K_2HPO_4 — гидрофосфат калия

KH_2PO_4 — дигидрофосфат калия

Для обозначения основных солей перед их названиями ставится слово «основной»:

MgOHCl — основной хлорид меди

$(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$ — основной карбонат меди

На практике, кроме указанных в таблице «химических» названий, пользуются также старинными техническими названиями некоторых солей. Так, например, соли азотной кислоты и металлов натрия, калия, кальция (NaNO_3 , KNO_3 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) называются с е л и т р а м и, соли серной кислоты, содержащие кристаллизационную воду, — $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ и др. — к у п о р о с а м и, соль Na_2CO_3 — с о д о й, соль K_2CO_3 — п о т а ш о м и т. д.

Названия солей наиболее часто встречающихся кислот
(по международной номенклатуре)

Название кислоты	Формула	Название соли
Азотистая	HNO_2	Нитрит
Азотная	HNO_3	Нитрат
Борная	H_3BO_3	Борат
Бромистоводородная	HBr	Бромид
Двухромовая	$\text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	Бихромат
Иодистоводородная	HI	Иодид
Кремневая	H_2SiO_3	Силикат
Марганцовая	HMnO_4	Перманганат
Серная	H_2SO_4	Сульфат
Сернистая	H_2SO_3	Сульфит
Сероводородная	H_2S	Сульфид
Тиосерная	$\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_3$	Тиосульфат
Угльная	H_2CO_3	Карбонат
Уксусная	CH_3COOH	Ацетат
Фосфорная	H_3PO_4	Фосфат
Фтористоводородная	H_2F_2	Фторид
Хлористоводородная	HCl	Хлорид
Хлорноватая	HClO_3	Хлорат
Хлорноватистая	HClO	Гипохлорит
Хромовая	H_2CrO_4	Хромат
Цианистоводородная	HCN	Цианид

7. Составление формул оснований и солей

Выше было указано, что молекулы оснований состоят из атомов металла и гидроксильных групп, а молекулы солей — из кислотных и основных остатков, связанных друг с другом в строго определенном для каждого вещества числе.

Как гидроксильная группа, так и кислотные и основные остатки имеют определенную валентность, величина которой устанавливается совершенно так же, как и величина валентности отдельных атомов.

Валентность гидроксила — OH равна единице, так как он может присоединить только один атом водорода, образуя молекулу воды.

Валентность кислотного остатка определяется числом атомов водорода, которые нужно отнять от молекулы кислоты для его получения. Например, фосфорная кислота H_3PO_4 может дать три кислотных остатка: одновалент-

ный $\text{—H}_2\text{PO}_4$, двухвалентный >HPO_4 и трехвалентный >PO_4 .

Валентность основного остатка определяется числом гидроксильных групп, отнятых от молекулы основания. Например, гидрат окиси кальция образует два основных остатка: одновалентный —CaOH и двухвалентный >Ca .

Распространяя понятие о валентности на указанные выше группы атомов (так называемые радикалы), мы получаем возможность легко и быстро составлять формулы любых оснований и солей.

Пример 1. Составить формулу гидрата окиси трехвалентного железа.

Решение. Так как гидроксил одновалентен, то, очевидно, молекула гидрата окиси железа должна состоять из одного атома железа и трех гидроксидов. Формула соединения будет Fe(OH)_3 .

Пример 2. Составить формулу нормальной кальциевой соли фосфорной кислоты.

Решение. Молекула этой соли должна состоять из двухвалентных атомов Ca и трехвалентных кислотных остатков >PO_4 . Наименьшее кратное чисел 2 и 3 равно 6. Следовательно, молекула соли должна содержать $6 : 2 = 3$ атома кальция и $6 : 3 = 2$ кислотных остатка >PO_4 . Формула соли будет $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$.

Пример 3. Составить формулу основной алюминиевой соли соляной кислоты.

Решение. Искомая соль должна состоять из одновалентных кислотных остатков соляной кислоты —Cl и содержащих гидроксил основных остатков гидрата окиси алюминия. Так как гидрат окиси алюминия может дать два таких остатка (одновалентный —Al(OH)_2 и двухвалентный >AlOH), то возможны две основные соли: $\text{Al(OH)}_2\text{Cl}$ и AlOHCl_2 .

Пример 4. Составить формулу кислой магниевой соли угольной кислоты.

Решение. В состав этой соли должен входить магний и одновалентный кислотный остаток угольной кислоты —HCO_3 . Так как магний двухвалентен, то с одним атомом

магния должны быть связаны два кислотных остатка —HCO₃. Формула соли: Mg(HCO₃)₂.

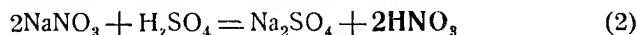
8. Важнейшие способы получения кислот, оснований и солей

Кислоты могут быть получены:

1. Непосредственным соединением кислотных окислов с водой, например

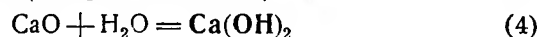
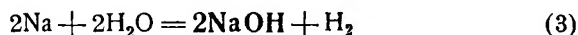


2. Взаимодействием кислоты с солью (обычно действием серной кислоты на соль получаемой кислоты), например



Основания могут быть получены:

1. Растворимые основания (щелочи) — взаимодействием наиболее активных металлов или их окислов с водой, например

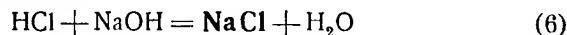


2. Нерастворимые основания — действием щелочей на растворимые соли соответствующих металлов, например



Соли могут быть получены при самых разнообразных реакциях:

1. При взаимодействии кислоты и основания (или амфотерной гидроокиси) получаются соль и вода (*реакция нейтрализации*), например

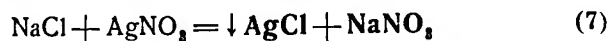


2. При взаимодействии кислоты и соли получаются другая кислота и новая соль (см. реакцию 2).

3. При взаимодействии щелочи и растворимой соли металла, образующего нерастворимое основание, получаются новая соль и нерастворимое основание (см. реакцию 5).

* Стрелка, поставленная слева от формулы Cu(OH)₂, показывает, что образующийся в результате реакции гидрат окиси меди выпадает в осадок.

4. При взаимодействии двух растворимых солей получаются две новые соли, например



подавляющее большинство реакций между кислотами, основаниями и солями представляют собой реакции обмена. Одним из продуктов таких реакций всегда является какая-нибудь новая соль.

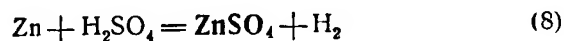
Растворимость важнейших солей в воде

Кислоты	
HNO_3	Растворимы все соли
HCl	Растворимы все соли, кроме AgCl , CuCl , PbCl_2 и Hg_2Cl_2
H_2SO_4	Растворимы все соли, кроме BaSO_4 , SrSO_4 и PbSO_4 . Очень мало растворимы CaSO_4 и Ag_2SO_4
H_2CO_3	Из нормальных солей растворимы только соли натрия, калия и аммония
H_3PO_4	То же
H_2S	» »
Металлы	
Na и K	Растворимы почти все соли

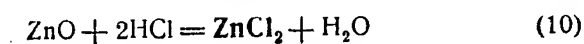
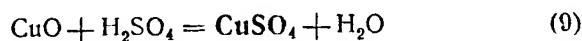
Практически с помощью указанных реакций можно получать новые соли только тогда, когда один из продуктов реакции или нерастворим, или легко улетучивается при нагревании и таким путем может быть отделен от другого.

Кроме этих реакций, очень важными реакциями получения солей являются:

5. Взаимодействие многих металлов с кислотами, например

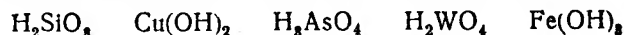


6. Взаимодействие основных и амфотерных окислов с кислотами, например

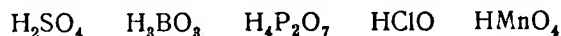


ЗАДАЧИ*

186. Напишите формулы окислов, которые можно получить, разлагая нагреванием следующие гидраты окислов:



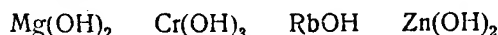
187. Найдите формулы ангидридов следующих кислот:



188. Выпишите кислотные остатки следующих кислых солей и укажите их валентность:



189. Выпишите основные остатки, которые могут быть получены из следующих оснований и амфотерных гидроокисей, и укажите их валентность:

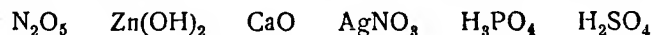


190. Составьте формулы нормальных и кислых солей угольной и мышьяковистой H_3AsO_3 кислот и металлов калия и кальция.

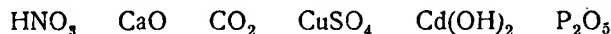
191. Составьте формулы кислых калиевых солей мышьяковистой кислоты H_3AsO_3 ; основных алюминиевых солей одноосновной уксусной кислоты CH_3COOH ; основной цинковой соли угольной кислоты.

192. Какие вещества получаются при взаимодействии кислоты с солью? Кислоты с основанием? Соли с солью? Основания с солью? Приведите примеры реакций.

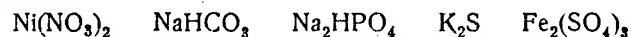
193. С какими из перечисленных ниже веществ будет реагировать соляная кислота? Составьте уравнения реакций.



194. Какие из указанных ниже веществ будут реагировать с едким натром? Выразите соответствующие реакции уравнениями.



195. Составьте уравнения реакций между соответствующими кислотами и основаниями, приводящих к образованию следующих солей:



* При решении задач, отмеченных звездочкой (*), следует руководствоваться таблицей растворимости солей (стр. 58).

***196.** Составьте уравнения реакций получения хлористого магния: а) действием кислоты на металл; б) действием кислоты на основание; в) действием соли на соль.

197. Напишите формулы кислых кальциевых солей фосфорной кислоты H_3PO_4 и основных висмутовых солей азотной кислоты. Как превратить эти соли в нормальные? Составьте уравнения реакций.

198. Составьте формулы основных хлоридов трехвалентного железа и уравнения реакций превращения этих солей в нормальные хлориды железа.

199. Составьте уравнения реакций получения кислых солей сернистой кислоты и металлов калия и кальция.

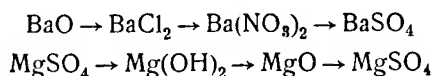
200. Составьте уравнения реакций образования солей:

а) основного хлорида магния и б) основного сульфата трехвалентного железа при взаимодействии соответствующих кислот и оснований.

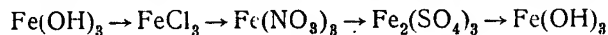
201. Как получить гидрат окиси железа из хлорного железа $FeCl_3$? Ортофосфорную кислоту из ее соли $Ca_3(PO_4)_2$? Хлорную медь $CuCl_2$ из окиси меди CuO ?

202. Какими реакциями можно получить закись никеля NiO и хлористый никель $NiCl_2$, исходя из сернокислого никеля $NiSO_4$ и имея в виду, что $NiCl_2$ и $NiSO_4$ растворимы в воде?

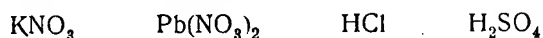
***203.** Составьте уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить следующие превращения:



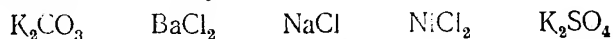
***204.** Как осуществить следующий цикл превращений:



***205.** Укажите все реакции, с помощью которых можно практически получить азотную кислоту (учитывая возможность ее отделения от других продуктов реакции), если в вашем распоряжении имеются следующие вещества:

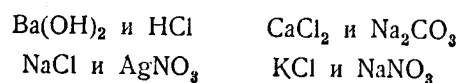


***206.** Имеются следующие соли:



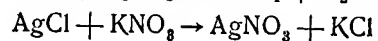
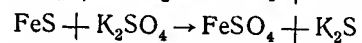
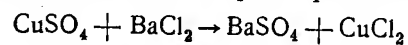
Какие из них, взятые попарно, можно использовать для получения KCl ? Напишите уравнения реакций и дайте объяснения.

*207. Можно ли приготовить раствор, содержащий одновременно:



Укажите, какие комбинации невозможны и почему.

*208. Можно ли осуществить в растворах следующие реакции:



Дайте мотивированный ответ, приняв во внимание растворимость солей.

209. Какие новые соли можно получить, имея в своем распоряжении CuSO_4 , AgNO_3 , K_3PO_4 и BaCl_2 ?

Напишите уравнения реакций и укажите названия полученных солей.

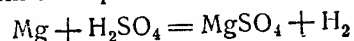
ГЛАВА VII

РАСЧЕТЫ ПО ХИМИЧЕСКИМ УРАВНЕНИЯМ

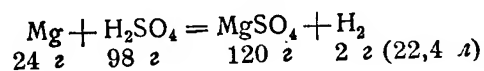
Химическое уравнение — это сокращенная запись химической реакции при помощи символов и формул.

Каждое химическое уравнение содержит точные данные о весовых отношениях между реагирующими и получающимися в результате реакции веществами. Если в реакции участвуют газы или пары, то химическое уравнение показывает также и их объемные отношения.

Рассмотрим, например, уравнение реакции между магнием и разбавленной серной кислотой



Уравнение показывает, что 1 атом магния реагирует с 1 молекулой серной кислоты, образуя сернокислый магний и водород. А так как химические символы и формулы изображают не только атомы или молекулы, но и вообще весовые количества веществ, численно равные их атомным или молекулярным весам (например, граммы и граммолекулы), то написанное уравнение можно расшифровать и так: 1 граммом Mg реагирует с 1 граммолекулой H_2SO_4 , в результате чего получаются 1 граммолекула MgSO_4 и 1 граммолекула H_2 . Граммом Mg весит 24 г, граммолекула H_2SO_4 — 98 г, граммолекула MgSO_4 — 120 г, граммолекула H_2 — 2 г.



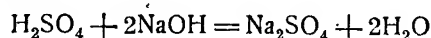
Числа 24, 98, 120 и 2 определяют весовые соотношения между участвующими в реакции веществами. При осуществлении реакции на практике на каждые 24 г магния следует взять 98 г серной кислоты; тогда в результате реакции получатся 120 г сульфата магния и 2 г (или 22,4 л при 0° и 760 мм) водорода. Если взять больше серной кислоты на то же количество магния, то излишек ее не вступит в реакцию; если взять меньше, то часть магния останется неиспользо-

ванной, и получится соответственно меньше сульфата магния и водорода.

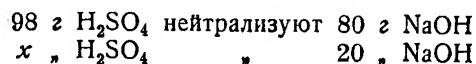
Отражая количественную сторону химических процессов, химические уравнения дают возможность производить самые разнообразные расчеты, например вычислять, сколько надо взять исходных веществ для получения определенного количества продуктов реакции, или какое количество новых веществ можно получить из данного количества исходных веществ и т. п. При решении всех подобного рода задач нужно прежде всего правильно написать уравнение реакции, затем установить весовые или объемные отношения между участвующими в реакции веществами и, наконец, составить необходимые пропорции, из которых и определить искомые величины.

Пример 1. Сколько граммов серной кислоты потребуется для нейтрализации 20 г едкого натра?

Решение. Зная, что при взаимодействии кислоты и щелочи всегда получаются соль и вода, составляем уравнение реакции, подбирая коэффициенты так, чтобы число атомов каждого элемента справа и слева от знака равенства было одинаково:



Из уравнения видно, что для нейтрализации 1 граммолекулы серной кислоты требуется взять 2 граммолекулы едкого натра. Подсчитав молекулярные веса серной кислоты и едкого натра, находим, что 1 граммолекула H_2SO_4 весит 98 г, а 2 граммолекулы NaOH весят 80 г. Следовательно, условия задачи можно сформулировать так: 98 г H_2SO_4 нейтрализуют 80 г NaOH ; какое количество H_2SO_4 нейтрализует 20 г NaOH ? Обозначив неизвестное количество H_2SO_4 через x , записываем эти условия в виде схемы:



Так как весовые отношения между реагирующими веществами постоянны, то на основании этой записи составляем пропорцию

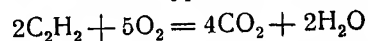
$$98 : 80 = x : 20$$

откуда

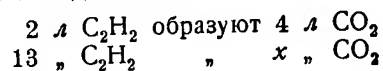
$$x = \frac{98 \cdot 20}{80} = 24,5 \text{ г}$$

Пример 2. Сколько литров углекислого газа образуется при сжигании 13 л ацетилена, если оба газа измерены при одинаковых условиях?

Решение. Составляем уравнение реакции



Так как коэффициенты при формулах указывают относительные объемы реагирующих газов, то задача сводится к следующему: 2 л C_2H_2 , сгорая, образуют 4 л CO_2 ; сколько литров CO_2 получится при сгорании 13 л C_2H_2 ? Записываем условия задачи в виде схемы:



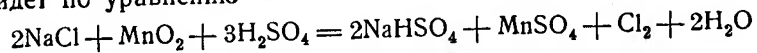
Для нахождения x составляем пропорцию

$$2 : 4 = 13 : x$$

откуда

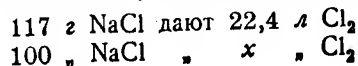
$$x = \frac{4 \cdot 13}{2} = 26 \text{ л}$$

Пример 3. Хлор может быть получен действием серной кислоты и двуокиси марганца на поваренную соль. Реакция идет по уравнению



Сколько литров хлора при 0° и 760 мм можно получить из 100 г поваренной соли?

Решение. Уравнение реакции показывает, что из 2 граммолекул поваренной соли получается 1 граммолекула хлора. Рассчитав вес 2 граммолекул поваренной соли и зная, что граммолекула хлора при 0° и 760 мм занимает объем 22,4 л, записываем условия задачи в виде схемы



Составляем пропорцию

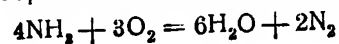
$$117 : 22,4 = 100 : x$$

откуда

$$x = \frac{22,4 \cdot 100}{117} = 19,15 \text{ л}$$

ЗАДАЧИ

210. Реакция горения аммиака выражается уравнением



В каких весовых отношениях вступают в реакцию исходные вещества? В каких объемных отношениях они взаимодействуют?

211. При растворении магния в серной кислоте образовалось 36 г сернокислого магния. Сколько весил магний? Сколько граммов серной кислоты пошло на его растворение?

212. К раствору, содержащему 10 г H_2SO_4 , прибавили 9 г NaOH . Какую реакцию имеет полученный раствор — нейтральную, кислую или щелочную?

213. Углекислый кальций CaCO_3 разлагается при накаливании на известь и углекислый газ. Какое приблизительно количество природного известняка, содержащего 90% CaCO_3 , потребуется для получения 7 т извести?

214. Сколько граммов едкого натра потребуется для превращения 100 г сернокислой меди в гидрат окиси меди?

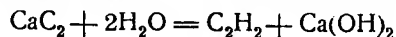
215. Сколько граммов едкого кали потребуется для превращения 70 г серной кислоты в кислую соль? В нормальную соль?

216. Сколько грамммолекул воды получится при восстановлении 200 г окиси меди в металлическую медь?

217. Сколько литров водорода, приведенного к нормальным условиям, получится при действии на воду 15 г кальция?

218. Какое количество цинка и 20%-ной серной кислоты потребуется для получения 56 л водорода, приведенного к нормальным условиям?

219. Сколько литров ацетилена (при 0° и 760 мм) можно получить действием воды на 8 г карбида кальция по уравнению



220. В лаборатории углекислый газ получают действием соляной кислоты на мрамор CaCO_3 . Рассчитайте, предполагая, что мрамор состоит из чистого CaCO_3 , сколько его потребуется для получения 84 л углекислого газа, приведенного к нормальным условиям.

221. Сколько литров гремучего газа (при 0° и 760 мм) получается при разложении 1 грамммолекулы воды электрическим током?

222. Сколько граммов бертолетовой соли нужно разложить для получения 100 л кислорода, приведенного к нормальным условиям?

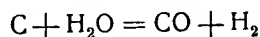
223. Сколько литров кислорода, взятого при 0° и 760 мм, расходуется при сжигании 100 г этилового спирта $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$?

224. Какое количество поваренной соли потребуется для получения 56 л хлористого водорода, приведенного к нормальным условиям?

225. Сколько литров водорода, приведенного к нормальным условиям, надо затратить для восстановления до металла 120 г молибденового ангидрида MoO_3 ?

226. Сколько литров углекислого газа, взятого при 0° и 760 мм, надо пропустить в раствор Ca(OH)_2 , чтобы получить 25 г CaCO_3 ?

227. При пропускании водяного пара над раскаленным углем получается водяной газ, состоящий теоретически из равных объемов окиси углерода и водорода



Сколько куб. метров водяного газа, измеренного при нормальных условиях, может быть получено из 3 кг угля?

228. Принимая объемное содержание кислорода в воздухе равным 20 %, рассчитайте, какой объем воздуха потребуется для сжигания 1 м³ технического водяного газа следующего состава (по объему): 50% водорода, 40% окиси углерода, 5% углекислого газа и 5% азота.

229. Какой объем воздуха потребуется для сжигания 1 м³ светильного газа, имеющего следующий объемный состав: 50% водорода, 35% метана, 8% окиси углерода, 2% этилена и 5% негорючих примесей? Объемное содержание кислорода в воздухе примите равным 20%.

230. Смешано 7,3 г хлористого водорода с 4 г аммиака. Сколько граммов хлористого аммония NH_4Cl образуется? Избыток какого газа останется после реакции? Сколько его останется?

231. Раствор, содержащий 34 г AgNO_3 , смешивают с раствором, содержащим такое же количество NaCl . Все ли количество AgNO_3 вступит в реакцию? Сколько граммов AgCl образуется в результате реакции?

232. Если смешать растворы, содержащие равные весовые количества азотной кислоты и едкого натра, то какую реакцию будет иметь полученная жидкость — нейтральную, кислую или щелочную?

233. Смесь водорода и азота содержит по 20 молей того и другого газа. Через некоторое время в смеси образовалось 4 моля аммиака. Сколько молей азота и водорода осталось в смеси?

234. При пропускании над катализатором смеси, состоящей из 10 молей SO_2 и 15 молей O_2 , образовалось 8 молей SO_3 . Сколько молей SO_2 и O_2 не вступило в реакцию?

235. К раствору, содержащему 0,2 моля хлорного железа FeCl_3 , прибавили 0,24 моля NaOH . Сколько молей гидрата

оксида железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$ образовалось в результате реакции и сколько молей FeCl_3 осталось в растворе?

236. Для приготовления некоторого количества сернистой меди CuSO_4 было нагрето 20 г окиси меди CuO с раствором, содержащим 21 г серной кислоты. Растворилась ли вся окись меди? Сколько граммов CuSO_4 образовалось в результате реакции?

237. Как превратить соду Na_2CO_3 в поваренную соль? Сколько граммов поваренной соли можно получить из 265 г соды?

238. Какое количество соды Na_2CO_3 и хлористого кальция CaCl_2 надо затратить для получения 200 г CaCO_3 ?

239. Как получить азотнокислую медь, имея медный купорос, азотную кислоту и щелочь? Составьте уравнения необходимых реакций и рассчитайте, сколько граммов $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ можно приготовить, если взять 450 г 20%-ной азотной кислоты.

240. Составьте уравнения реакций, с помощью которых можно получить окись меди, исходя из хлорной меди CuCl_2 . Рассчитайте, какое количество хлорной меди потребуется для приготовления 32 г окиси меди.

241. При сжигании 3 г антрацита получилось 5,3 л углекислого газа, измеренного при нормальных условиях. Сколько процентов углерода содержал антрацит?

242. Для нейтрализации 50 г раствора серной кислоты потребовалось 2 г едкого натра. Сколько процентов серной кислоты содержал раствор?

243. При растворении 0,8 г цинковой пыли (порошкообразный цинк, содержащий примесь окиси цинка) в серной кислоте выделилось 224 мл водорода, измеренного при нормальных условиях. Сколько процентов цинка содержала цинковая пыль?

244. Для определения содержания NaCl в техническом едком натре 2 г последнего растворили в воде и к полученному раствору прибавили раствора азотнокислого серебра AgNO_3 до прекращения образования осадка AgCl . Промытый и высушенный осадок весил 0,287 г. Сколько процентов NaCl содержал едкий натр?

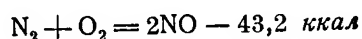
245. В литровую склянку, содержащую 100 мл 10%-ного раствора HCl при температуре 21° , было помещено 3,25 г цинка, после чего склянка была тотчас же закупорена. Какое давление установится в склянке по окончании реакции, если температура будет та же, что и до начала реакции? При расчете уд. вес кислоты можно принять равным 1, а начальное давление 1 ат.

ГЛАВА VIII

ТЕРМОХИМИЧЕСКИЕ УРАВНЕНИЯ И РАСЧЕТЫ

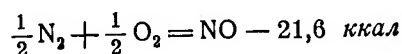
Всякая химическая реакция сопровождается выделением или поглощением энергии, чаще всего в виде тепла. Количество последнего может быть измерено и выражено в калориях.

Химические уравнения, в которых указывается тепловой эффект реакции, называются *термохимическими*. В таких уравнениях число калорий всегда относится к граммоллекулярным количествам реагирующих или образующихся веществ и дается со знаком плюс (+), если реакция экзотермична, и со знаком минус (—), если она эндотермична. Например, термохимическое уравнение реакции образования окиси азота



показывает, что при образовании 2 граммоллекул NO из азота и кислорода поглощаются 43,2 ккал.

Так как в термохимических уравнениях символы и формулы означают грамматомы и граммоллекулы реагирующих веществ, то коэффициенты при них могут быть дробными*. Поэтому предыдущее уравнение может быть написано и так:



Количество тепла, выделяющегося или поглощающегося при образовании 1 граммоллекулы химического соединения из простых веществ, называется *теплотой образования* данного соединения. Из приведенного выше уравнения следует, например, что теплота образования окиси азота равна —21,6 ккал.

Все термохимические расчеты основаны на следующих положениях:

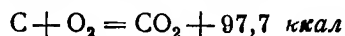
* Дробные коэффициенты ставят для того, чтобы отнести тепловой эффект реакции к 1 молю образующегося вещества.

1. При разложении сложного вещества на простые поглощается (или выделяется) столько же тепла, сколько выдeлилось (или поглотилось) при его образовании из простых веществ.

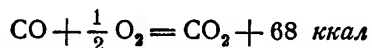
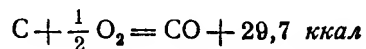
Отсюда следует, что теплота образования химического соединения равна его теплоте разложения, взятой с обратным знаком.

2. Тепловой эффект химического процесса равняется сумме тепловых эффектов всех промежуточных стадий процесса (закон Гесса).

Так, например, процесс получения углекислого газа из угля и кислорода может быть проведен в одну стадию:



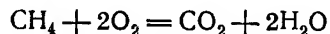
Но этот же процесс можно провести в две стадии:



Согласно закону Гесса сумма тепловых эффектов двух последних реакций должна равняться тепловому эффекту первой реакции, что и имеет место в действительности ($29,7 + 68 = 97,7 \text{ ккал}$).

Общий прием при решении термохимических задач иллюстрируется следующими примерами.

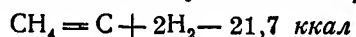
Пример 1. Определить тепловой эффект реакции горения метана



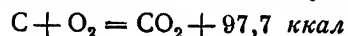
зная, что теплота образования углекислого газа равна 97,7 ккал, теплота образования водяного пара 57,8 ккал и теплота образования метана 21,7 ккал.

Решение. Разбиваем реакцию на отдельные промежуточные стадии, в виде которых можно представить себе ее течение:

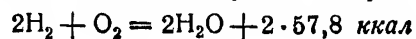
1) Разложение метана на уголь и водород



2) Образование углекислого газа из угля и кислорода



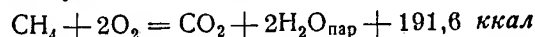
3) Образование водяного пара из водорода и кислорода



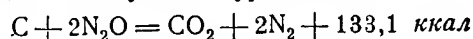
Сумма тепловых эффектов этих трех стадий реакции должна равняться общему тепловому эффекту реакции горения метана

$$- 21,7 \text{ ккал} + 97,7 \text{ ккал} + 2 \cdot 57,8 \text{ ккал} = 191,6 \text{ ккал}$$

Следовательно, термохимическое уравнение реакции горения метана будет иметь вид:

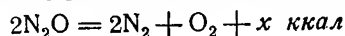


Пример 2. Определить теплоту образования закиси азота, исходя из следующего уравнения:

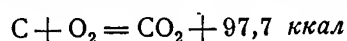


Решение. Разбиваем данную реакцию на стадии:

1) Разложение закиси азота на азот и кислород (неизвестный тепловой эффект этой реакции обозначаем через x)



2) Образование углекислого газа из угля и кислорода



Сумма тепловых эффектов двух последних реакций должна равняться тепловому эффекту первой реакции

$$x \text{ ккал} + 97,7 \text{ ккал} = 133,1 \text{ ккал}$$

откуда

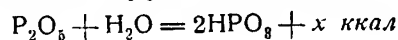
$$x = 133,1 - 97,7 = 35,4 \text{ ккал}$$

Таким образом, при разложении 2 молей N_2O выделяется 35,4 ккал; столько же калорий поглощается при образовании 2 молей N_2O . Следовательно, теплота образования закиси азота равна

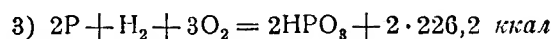
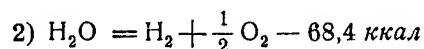
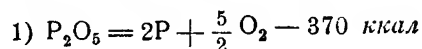
$$\frac{-35,4}{2} = -17,7 \text{ ккал}$$

Пример 3. Вычислить, сколько тепла выделяется при получении 300 г метафосфорной кислоты из фосфорного ангидрида, исходя из следующих данных: теплота образования P_2O_5 равна 370 ккал, теплота образования HPO_3 равна 226,2 ккал и теплота образования воды 68,4 ккал.

Решение. Составляем уравнение реакции, обозначив неизвестный тепловой эффект этой реакции через x :



Для определения x разбиваем реакцию на стадии:



Отсюда

$$x = -370 - 68,4 + 452,4 = 14 \text{ ккал}$$

Следовательно, при образовании 2 молей HPO_3 (120 г) выделяется 14 ккал. Количество тепла (y), выделяющееся при образовании 300 г HPO_3 , находим из пропорции

$$120 : 300 = 14 : y$$

$$y = \frac{300 \cdot 14}{120} = 35 \text{ ккал}$$

Теплота образования некоторых соединений в ккал

$\text{H}_2\text{O}_{\text{пар}}$. . . 57,8	NO -21,6	CO_2 97,7
$\text{H}_2\text{O}_{\text{жидк.}}$. . 68,4	P_2O_5 370	CuO 34,9
HCl 21,9	CH_4 21,7	CaO 152,1
SO_2 69,3	C_2H_4 -13,6	Ca(OH)_2 235,5
NH_3 11,0	C_2H_2 -48,6	Fe_2O_3 195,0
N_2O -17,7	CO 29,7	Al_2O_3 393,0

ЗАДАЧИ

246. При соединении 2,1 г железа с серой выделилось 0,87 ккал. Рассчитайте теплоту образования сульфида железа.

247. Для определения теплоты образования окиси цинка 3,27 г цинка было сожжено в калориметрической бомбе, причем выделилось 4,15 ккал. Рассчитайте теплоту образования окиси цинка.

248. При соединении 9 г алюминия с кислородом выделяется 65,5 ккал. Определите теплоту образования окиси алюминия Al_2O_3 .

249. Сколько тепла выделяется при взрыве 8,4 л гремучего газа, взятого при нормальных условиях, если теплота образования водяного пара 57,8 ккал?

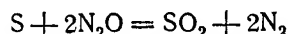
250. Реакция образования хлористого водорода из хлора и водорода выражается уравнением



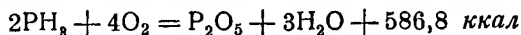
Сколько тепла выделяется при соединении 1 л хлора с водородом?

251. Сколько тепла выделяется при сжигании 1 м³ водорода, взятого при нормальных условиях, если в результате реакции получается вода?

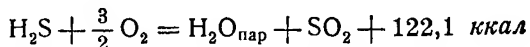
252. Определите тепловой эффект реакции горения серы в закиси азота



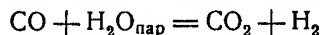
253. Определите теплоту образования фосфористого водорода PH_3 , исходя из уравнения



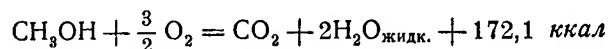
254. Определите теплоту образования сероводорода, исходя из уравнения



255. Определите тепловой эффект реакции

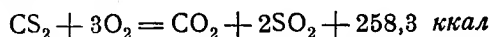


256. Определите теплоту образования метилового спирта CH_3OH , исходя из реакции



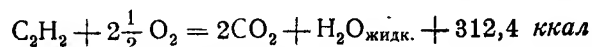
257. Определите теплоту образования окиси меди, зная, что при восстановлении 1 граммолекулы окиси меди углем (с образованием CO) поглощается 5,2 ккал.

258. Определите теплоту образования сероуглерода CS_2 , исходя из реакции



259. Сколько тепла выделится при сжигании 100 л этилена, взятого при нормальных условиях, если образовавшийся пар превратится в воду?

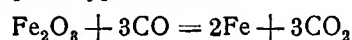
260. Реакция горения ацетилена выражается уравнением



Определите теплоту образования ацетилена.

261. Сколько тепла выделится при сжигании 112 л водяного газа, представляющего собой смесь равных объемов водорода и окиси углерода, если при горении образуются углекислый газ и водяной пар?

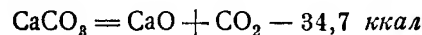
262. Основной процесс, протекающий в доменной печи, выражается суммарным уравнением



Определите тепловой эффект этой реакции.

263. Сколько калорий выделится при восстановлении 8 г окиси меди водородом с образованием жидкой воды?

264. Реакция разложения углекислого кальция выражается уравнением



Определите теплоту образования CaCO_3 из кальция, кислорода и углерода.

265. Определите теплоту образования хлористого аммония, исходя из реакции



266. Сожжены равные объемы водорода и ацетилена, взятых при одинаковых условиях. В каком случае выделилось больше тепла? Во сколько раз?

Теплоту образования воды примите равной 57,8 ккал.

267. При получении металлов из их окислов в качестве восстановителей пользуются: углем (который окисляется при этом до окиси углерода), водородом или окисью углерода. Определите тепловой эффект реакции для каждого из этих случаев, если восстановлению подвергается окись железа Fe_2O_3 .

ГЛАВА IX

СТРОЕНИЕ АТОМА. ХИМИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ

1. Строение атома. Образование ионов

Атом каждого элемента состоит из ядра, заряженного положительным электричеством, и вращающихся вокруг него по различным орбитам отрицательно заряженных частиц — электронов. Масса электрона ничтожно мала ($1/1840$ массы атома водорода), так что практически вся масса атома сосредоточена в его ядре. Положительный заряд ядра равен сумме отрицательных зарядов окружающих его электронов, поэтому атом в целом электрически нейтрален.

Заряд электрона есть наименьшее известное нам количество электричества ($4,80 \cdot 10^{-10}$ электростатических единиц). Если принять его за единицу, то выраженный в таких единицах заряд ядра будет численно равняться порядковому (атомному) номеру элемента, показывающему, какое по счету место занимает данный элемент в периодической системе элементов.

Окружающие ядро электроны разбиваются на группы или слои, составляющие как бы оболочку атома. В каждом слое имеется определенное заполняющее его число электронов. Электроны одного и того же слоя обладают почти одинаковым запасом энергии, или, как говорят, находятся на одном и том же *энергетическом уровне*. Электронная оболочка атома состоит из нескольких слоев, или энергетических уровней, обозначаемых буквами: K, L, M, N, O Буквой K обозначают ближайший к ядру слой — низший энергетический уровень. Электроны каждого следующего слоя находятся на более высоком энергетическом уровне, чем электроны предыдущего слоя. Наибольшее число электронов, которое может находиться в данном слое (на данном энергетическом уровне) равно $2n^2$, где n — номер слоя. Кроме того, установлено, что число электронов в наружном слое для всех элементов не превышает восьми.

Электроны наружного слоя, как наиболее удаленные от ядра и, следовательно, наименее прочно с ним связанные, могут отрываться от атома и присоединяться к другим атомам, входя в состав их наружного слоя (если до этого в нем было меньше восьми электронов). Потеря электронов или присоединение их к атому нарушает электронейтральность атома, и он становится заряженным: в первом случае положительно, во втором — отрицательно. Образующиеся таким образом заряженные частицы называются *ионами*.

Ионы обозначают теми же символами, что и атомы, добавляя к ним справа сверху столько знаков плюс или минус, сколько единиц равняется заряд иона. Например, положительный двухзарядный ион кальция обозначается символом Ca^{++} или Ca^{2+} , отрицательный однозарядный ион хлора символом Cl^- и т. д.

Величина заряда иона зависит от числа потерянных или приобретенных (присоединенных) атомом электронов. Так, например, если атом магния, имеющий в своей оболочке всего 12 электронов, потеряет два электрона наружного слоя, то образовавшийся ион магния будет иметь заряд $+2$, так как от потери электронов заряд ядра, равный $+12$, не изменится, а общий заряд оставшихся электронов станет равным -10 (заряд иона будет: $-10 + 12 = +2$).

Приведем еще один пример. Атом серы имеет всего шестнадцать электронов, из которых шесть находятся в наружном слое. Если он присоединит к себе еще два электрона, то получится отрицательный двухзарядный ион серы, так как общий заряд электронов станет равен -18 , а заряд ядра равняется $+16$ (заряд иона будет $-18 + 16 = -2$).

Таким образом, присоединение к атому некоторого числа электронов превращает его в ион с таким же числом отрицательных зарядов; наоборот, потеря атомом некоторого числа электронов превращает его в ион с таким же числом положительных зарядов.

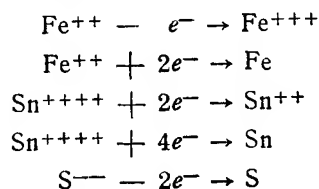
Многие ионы в свою очередь могут терять или присоединять электроны, превращаясь при этом или в электронейтральные атомы, или в новые ионы с другим зарядом.

При потере электронов положительный заряд иона увеличивается, а отрицательный — уменьшается или становится равным нулю (т. е. ион превращается в электронейтральный атом). Наоборот, присоединение электронов к иону уменьшает его положительный заряд и увеличивает отрицательный.

Так, например, положительный двухзарядный ион железа Fe^{++} , отдавая один электрон, становится трехзаряд-

ным ионом Fe^{+++} , а присоединяя два электрона — превращается в электронейтральный атом Fe; четырехзарядный ион олова Sn^{++++} , присоединяя два электрона, превращается в двухзарядный ион Sn^{++} ; если же он присоединит четыре электрона, то получится электронейтральный атом олова Sn; отрицательный двухзарядный ион серы S^{--} , отдавая два электрона, превращается в атом серы S, и т. д.

Обозначая электрон буквой e с минусом, можно записать все перечисленные превращения так:



Способность атома превращаться в положительные или отрицательные ионы обуславливается положением соответствующего элемента в периодической системе Д. И. Менделеева. Атомы элементов, стоящих в начале периода, имеют меньший заряд ядра, чем атомы элементов, находящихся в конце периода. В первом случае электроны притягиваются слабее, чем во втором, поэтому склонность атомов к присоединению электронов усиливается в периодах в направлении слева направо, в то же время увеличивается и число электронов в наружном слое атома. В отрицательные ионы способны превращаться только те атомы, в наружном слое которых содержится больше пяти электронов (атомы металлоидов). Атомы, имеющие в наружном слое меньше четырех электронов (за исключением атома водорода), могут только отдавать электроны, но, насколько известно, никогда не присоединяют их. Таковы атомы элементов, которые мы называем металлами.

Отдача электронов или присоединение их к атомам происходит при различных химических процессах, в частности, при образовании многих сложных веществ из простых, когда соединяются друг с другом атомы образующих это вещество элементов.

2. Ионные и атомные соединения

Все вещества (кроме металлов) по характеру химической связи между их атомами могут быть разделены на две основные группы:

1. Вещества с так называемой *электровалентной*, или *ионной*, связью, состоящие из положительно и отрицательно заряженных ионов, связанных между собой силами электростатического притяжения. Соединения, имеющие связь такого рода, называются *ионными*.

2. Вещества с *ковалентной*, или *атомной*, связью, состоящие из электронейтральных молекул, образованных атомами, связь между которыми осуществляется в результате взаимодействия электронов, которые становятся при этом общими у двух соединяющихся атомов. Соединения с ковалентной связью между атомами, образующими их молекулы, называются *атомными*.

Типичными представителями веществ с ионной связью являются соли, основные окислы и др. Типичными представителями веществ с атомной связью могут служить простые газы — водород, кислород, азот.

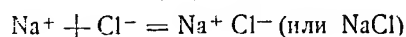
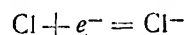
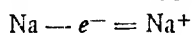
Провести сколько-нибудь резкую границу между ионными и атомными соединениями невозможно, так как существует много соединений, в которых, наряду с ионной, имеется и атомная связь.

3. Образование ионных соединений

Согласно современной теории химической связи, образование ионных соединений из атомов происходит следующим образом. Сперва атомы одного элемента отнимают некоторое число электронов у атомов другого элемента, вследствие чего и те и другие атомы превращаются в ионы. Образовавшиеся ионы, будучи разноименно заряженными, притягиваются друг к другу, образуя соединение с ионной связью.

Так, например, при образовании хлористого натрия из элементов атомы натрия, имеющие в наружном слое только один электрон, встречаясь с атомами хлора, в наружном слое которых содержится семь электронов, отдают свои электроны, находящиеся в наружном слое, атомам хлора, превращаясь в положительные однозарядные ионы натрия Na^+ . В то же время атомы хлора, присоединившие к своему наружному слою по одному электрону, становятся отрицательными однозарядными ионами. После этого сила электростатического притяжения между разноименными зарядами связывает образовавшиеся ионы друг с другом, в результате чего получается соль — хлористый натрий (рис. 1).

Обозначая электроны знаком e^- , можно изобразить процессы, происходящие при образовании хлористого натрия, следующими электронными уравнениями:



Подобным же образом, при образовании из элементов окиси алюминия, атомы алюминия отдают по три электрона атомам кислорода. Каждый атом кислорода присоединяет два электрона, так как в его наружном слое уже имеется

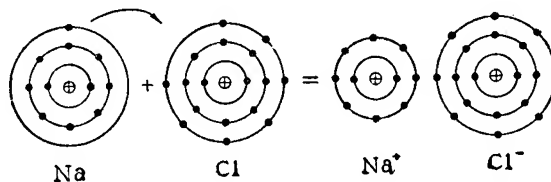
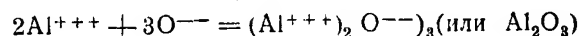
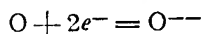
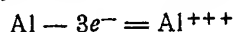


Рис. 1. Схема образования хлористого натрия.

шесть электронов. В результате получают положительные трехзарядные ионы алюминия Al^{+++} и отрицательные двухзарядные ионы кислорода O^{--} , причем на каждые два иона алюминия приходятся три иона кислорода. Взаимно притягиваясь, эти ионы образуют окись алюминия:



Следует заметить, что при образовании ионных соединений, в результате сближения большого числа положительных и отрицательных ионов, получаются не молекулы, а кристаллы, в которых каждый ион одного знака окружен ионами противоположного знака, находящимися на некотором расстоянии от него. Поэтому к кристаллам, построенным из ионов, т. е. вообще к ионным соединениям, неприменимо понятие «молекула» в том смысле, в котором мы его обычно применяем, рассматривая газообразные вещества.

В отношении, например, хлористого натрия мы лишь в весьма условном смысле говорим, что он построен из молекул NaCl . В действительности в его кристаллах нет таких

молекул. Весь кристалл состоит из большого числа ионов Na^+ и Cl^- . Поэтому формула NaCl , строго говоря, не изображает молекулу хлористого натрия; она говорит лишь о том, что в этом веществе на каждый атом, или точнее, ион натрия приходится один атом (ион) хлора, что вполне определяет весовой состав хлористого натрия. Однако в дальнейшем мы часто будем пользоваться термином «молекула» в применении к солям в тех случаях, когда необходимо будет указать соотношение между числом положительных и отрицательных ионов, образующих данную соль.

Изложенные выше представления о механизме образования ионных соединений приводят к заключению, что *валентность элементов в ионных соединениях есть не что иное, как число электрических зарядов их ионов*. Поэтому ее иначе называют электровалентностью.

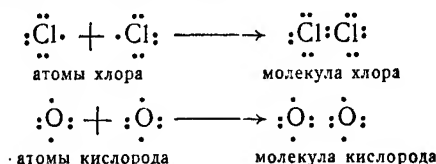
Величина электровалентности определяется числом электронов, отданных атомом при образовании положительного иона или присоединившихся к атому при образовании отрицательного иона. В первом случае валентность считается положительной, во втором — отрицательной. Например, в окиси алюминия алюминий положительно трехвалентен, а кислород отрицательно двухвалентен; в хлористом натрии натрий положительно одновалентен, а хлор отрицательно одновалентен.

4. Образование атомных соединений

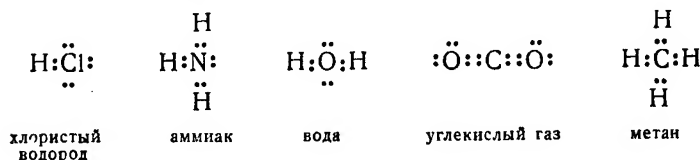
При образовании атомных соединений не происходит ни потери электронов, ни присоединения их к атомам элементов, вступающих в соединение. Связь между атомами в молекулах атомных соединений достигается путем образования одной или нескольких пар электронов, которые становятся общими у соединяющихся атомов, т. е. входят одновременно в состав электронных оболочек двух атомов, вращаясь по орбитам, охватывающим ядра обоих атомов.

Для изображения связи, обусловленной наличием общих электронов, в химических формулах ковалентных соединений вокруг символа каждого атома ставят столько точек, сколько электронов находится в его наружном слое. Электроны, являющиеся общими у двух атомов, отмечаются точками, поставленными между химическими символами этих атомов. Двойная или тройная связь обозначается двумя или тремя парами точек, поставленных между символами атомов.

Пользуясь такими обозначениями, можно наглядно изобразить образование и строение молекул ковалентных соединений. В качестве примера приведем схемы образования молекул хлора и кислорода:



Следующие схемы изображают строение молекул некоторых химических соединений с ковалентной связью:



Так как при образовании ковалентной связи электроны не переходят от одних атомов к другим, то понятно, что молекулы с ковалентной связью не содержат ионов. Однако, если атомы, образующие молекулу, разнородны, то связывающие их пары общих электронов могут быть смещены в сторону того атома, у которого сильнее выражены металлоидные свойства. Например, в молекуле HCl, где атомы водорода и хлора связаны между собой ковалентной связью, общие электроны смещены в сторону хлора, как элементы с более резко выраженным металлоидным характером, вследствие чего атомы хлора частично заряжены отрицательно, а атомы водорода положительно, что можно изобразить следующим образом:



В таких случаях ковалентная связь называется полярной, в отличие от неполярной ковалентной связи, когда общие электроны находятся на одинаковом расстоянии от обоих атомов, как, например, в молекуле водорода H : H.

Направление, в котором смещаются электроны, определяется положением соответствующих атомов в периодической системе:

1) в пределах периода электроны смещаются от левее

стоящего элемента к правее стоящему элементу; например, в молекуле PCl_3 электроны смещены в сторону хлора, так как хлор стоит правее фосфора в том же периоде;

2) в пределах главных подгрупп электроны смещаются от ниже стоящего элемента к вышестоящему; например, в молекуле SO_2 электроны смещены в сторону кислорода, стоящего в той же группе, что и сера, но выше ее.

5. Валентность элементов в атомных соединениях

Ввиду того, что в молекулах атомных соединений, образованных различными по своим свойствам элементами, вследствие смещения общих пар электронов, одни атомы могут быть частично заряжены положительно, а другие отрицательно, понятие о положительной и отрицательной валентности элементов может быть распространено и на соединения с атомной связью.

Величина положительной и отрицательной валентности элементов в атомных соединениях определяется теми зарядами, которые получились бы у ионов, если бы общие электроны, связывающие атомы в молекуле, целиком перешли к тем атомам, в сторону которых они смещены.

Так, например, если бы в молекуле PCl_3 общие электроны целиком перешли к атомам хлора, то последние превратились бы в отрицательные однозарядные ионы Cl^- , а атом фосфора — в положительный трехзарядный ион P^{3+} ; если бы в молекуле SO_2 общие электроны перешли к атомам кислорода, то атомы последнего превратились бы в отрицательные двухзарядные ионы O^{2-} , а атом серы — в положительный четырехзарядный ион S^{4+} .

Таким образом, фосфор в соединении PCl_3 положительно трехвалентен, а хлор — отрицательно одновалентен, сера же в соединении SO_2 положительно четырехвалентна, а кислород, как и во всех вообще соединениях, отрицательно двухвалентен.

6. Определение валентности элементов в сложных веществах

Из сказанного выше о валентности элементов как в ионных, так и в атомных соединениях нетрудно заключить, что *во всяком химическом соединении алгебраическая сумма положительных и отрицательных единиц валентности равна нулю.* Это дает возможность вычислить величину и знак

валентности элемента в любом сложном веществе, если известны валентности остальных элементов, входящих в его состав. При расчетах надо иметь в виду, что водород во всех соединениях, кроме соединений с металлами (гидридов металлов), положительно одновалентен, а кислород — отрицательно двухвалентен (исключением является соединение кислорода со фтором OF_2 , где кислород положительно двухвалентен).

Металлы всегда проявляют положительную валентность.

Пример 1. Определить валентность марганца в соединении K_2MnO_4 .

Решение. Из формулы видно, что в этом соединении на каждые два атома калия приходится один атом марганца и четыре атома кислорода. Валентность атома калия равна $+1$, валентность атома кислорода равняется -2 . Обозначив число единиц валентности у марганца через x , можно составить следующее уравнение:

$$2 + x - 2 \cdot 4 = 0$$

откуда

$$x = 8 - 2 = +6$$

т. е. марганец в этом соединении положительно шестивалентен.

Подобным же образом можно рассчитывать валентности элементов в различных радикалах.

Пример 2. Определить валентность фосфора в кислотном остатке пирогосфорной кислоты P_2O_7 .

Решение. Так как в молекуле пирогосфорной кислоты $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$ этот остаток связан с четырьмя положительно одновалентными атомами водорода, то в целом его валентность, очевидно, равна -4 , т. е. сумма положительных и отрицательных единиц валентности образующих его атомов равна -4 .

Обозначив число единиц валентности у фосфора через x , составляем уравнение:

$$2x + (-2 \cdot 7) = -4$$

откуда

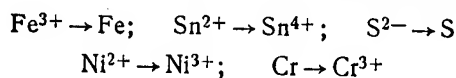
$$2x = -4 + 14 = +10$$

$$x = +5$$

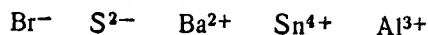
т. е. фосфор положительно пятиявалентен.

ЗАДАЧИ

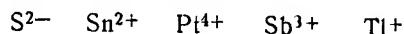
268. Сколько электронов отдают или приобретают ниже следующие атомы и ионы при показанных стрелками превращениях? Запишите это в виде электронных уравнений:



269. Сколько электронов должны приобрести или отдать указанные ниже ионы, чтобы превратиться в нейтральные атомы?



270. Во что превратятся следующие ионы, если от каждого из них отнять по два электрона?



271. Изобразите электронными уравнениями процессы образования из атомов следующих ионных соединений:



272. Изобразите электронными уравнениями процессы образования из атомов следующих веществ:



273. Из каких ионов построены кристаллы следующих веществ:



Изобразите эти ионы символами.

274. Выпишите отдельно все ионы, входящие в состав следующих веществ:



275. Укажите, в сторону какого элемента должны быть смещены электроны в молекулах следующих атомных соединений:



и определите валентность элементов в каждом из этих соединений.

276. Определите величину и знак валентности элементов в соединениях SiF_4 и NJ_3 и объясните, как Вы их определили.

277. Дайте электронные схемы строения молекул следующих соединений с атомной связью:



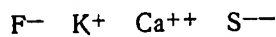
Укажите валентности элементов в каждом из этих соединений.

278. Дайте электронные схемы строения молекул:

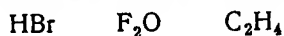


Для каждой молекулы укажите величину и знак валентности образующих ее атомов.

279. Начертите схемы строения электронных оболочек следующих ионов:



280. Дайте электронные схемы строения молекул:



281. Определите величину и знак валентности элементов в следующих соединениях:



282. Сколько электронов может содержаться в заполненных первой, третьей и четвертой оболочках атома?

283. Определите величину и знак валентности железа, хрома, рения и ванадия в следующих соединениях:



284. Определите величину и знак валентности хлора, марганца, алюминия и иода в следующих соединениях:



285. Найдите валентность хрома в каждом из следующих соединений:



286. Покажите путем расчета, что валентность кремния одинакова в его следующих природных соединениях: полевой шпат $\text{K}_2\text{Al}_2\text{Si}_8\text{O}_{18}$; каолин $\text{H}_4\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_9$; асбест $\text{CaMg}_3\text{Si}_4\text{O}_{13}$.

ГЛАВА X

ХИМИЧЕСКОЕ РАВНОВЕСИЕ

1. Скорость химических реакций. Расчеты равновесных систем

Скорость химической реакции измеряется изменением концентраций реагирующих веществ в единицу времени. Под концентрацией вещества понимают количество его в единице объема. Концентрацию обычно выражают числом молей вещества, содержащихся в 1 л.

Главными факторами, влияющими на скорость реакции, являются концентрации реагирующих веществ и температура.

Скорость химической реакции прямо пропорциональна произведению концентраций реагирующих веществ. Эта зависимость носит название закона действия масс и выражается математически следующим уравнением:

$$v = K [A]^m \cdot [B]^n$$

где v — скорость реакции; $[A]$ и $[B]$ — концентрации реагирующих веществ A и B ; m и n — коэффициенты при формулах в уравнении реакции; K — постоянная для данной реакции величина, называемая *константой скорости*. В тех случаях, когда коэффициенты m и n равны каждому единице, уравнение принимает более простой вид

$$v = K [A] \cdot [B]$$

Закон действия масс строго применим только к газообразным и растворенным веществам. Если наряду с ними в реакции участвуют также и твердые вещества, концентрации которых постоянны, то скорость реакции изменяется только в зависимости от концентраций газов или растворенных веществ. Например, скорость реакции горения серы ($S + O_2 = SO_2$) пропорциональна только концентрации кислорода

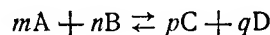
$$v = K [O_2]$$

Зависимость скорости реакции от температуры выражается в том, что с повышением температуры на каждые 10° скорость реакции увеличивается обычно в 2—3 раза. При понижении температуры скорость уменьшается во столько же раз.

Число, показывающее, во сколько раз увеличивается скорость данной реакции при повышении температуры на 10° , называется *температурным коэффициентом реакции*.

С течением времени скорость реакции уменьшается, так как по мере взаимодействия веществ уменьшаются их концентрации. Но если реакция обратима и протекает в замкнутом пространстве, то одновременно с уменьшением скорости прямой реакции (v_1) увеличивается скорость обратной реакции (v_2) вследствие накопления продуктов прямой реакции. Когда обе скорости сравняются, наступает состояние равновесия, и дальнейшее изменение концентраций всех участвующих в реакции веществ прекращается.

Если изобразить обратимую реакцию в общем виде уравнением



то соотношение между концентрациями при равновесии выразится формулой

$$K = \frac{[C]^p \cdot [D]^q}{[A]^m \cdot [B]^n}$$

где K — постоянная для данной температуры величина — *константа равновесия*, не зависящая от концентраций реагирующих веществ*. Эта формула показывает, что при обратимых реакциях равновесие наступает тогда, когда отношение произведения концентраций образующихся веществ к произведению концентраций вступающих в реакцию веществ станет равно некоторой постоянной для данной реакции (при данной температуре) величине.

* Выражение константы равновесия может быть дано и в таком виде:

$$K_1 = \frac{[A]^m \cdot [B]^n}{[C]^p \cdot [D]^q}$$

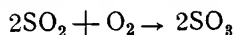
но при этом числовое значение константы, конечно, будет другое: $K_1 = \frac{1}{K}$. В задачах величина K везде указана для первого случая.

Изложенные закономерности позволяют производить ряд важных расчетов.

Пример 1. Смешивают 1 л раствора глюкозы с 2 л раствора этилового спирта. Концентрация и того и другого вещества до смешения равнялась 0,6 моль/л. Определить концентрации спирта и глюкозы после смешения.

Решение. Объем смеси равняется 3 литрам. В этом объеме после смешения содержится 0,6 моля глюкозы и $0,6 \cdot 2 = 1,2$ моля этилового спирта. Следовательно, концентрация глюкозы равняется $\frac{0,6}{3} = 0,2$ моль/л, а спирта $\frac{1,2}{3} = 0,4$ моль/л.

Пример 2. Как изменится скорость реакции



если уменьшить объем газовой смеси в 3 раза?

Решение. Пусть концентрации SO_2 и O_2 до изменения объема равнялись

$$[\text{SO}_2] = a \quad [\text{O}_2] = b$$

При этих условиях скорость реакции

$$v = K \cdot a^2 b$$

Вследствие уменьшения объема в 3 раза концентрации SO_2 и O_2 во столько же раз увеличились и стали равны

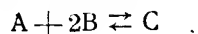
$$[\text{SO}_2] = 3a \quad [\text{O}_2] = 3b$$

При новых концентрациях скорость реакции

$$v' = K(3a)^2 \cdot 3b = K \cdot 27a^2 b$$

Сравнивая v и v' , видим, что скорость реакции увеличилась в 27 раз.

Пример 3. Обратимая реакция выражается уравнением



При установившемся равновесии концентрации участвующих в реакции веществ равнялись

$$[\text{A}] = 0,6 \text{ моль/л} \quad [\text{B}] = 1,2 \text{ моль/л} \quad [\text{C}] = 2,16 \text{ моль/л}$$

Вычислить константу равновесия и исходные концентрации веществ А и В.

Решение. Для данной реакции константа равновесия выражается уравнением

$$K = \frac{[C]}{[A] \cdot [B]^2}$$

Подставляя в это уравнение указанные в условии задачи величины концентраций, получаем

$$K = \frac{2,16}{0,6 \cdot (1,2)^2} = 2,5$$

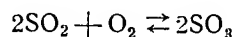
Чтобы определить исходные концентрации веществ А и В, нужно учесть, что согласно уравнению реакции из 1 моля А и 2 молей В образуется 1 моль С. Отсюда следует, что на образование каждых 2,16 моля С пошло 2,16 моля А и $2,16 \cdot 2 = 4,32$ моля В. Таким образом, исходные концентрации веществ А и В (т. е. число молей А и В на каждый литр смеси до начала реакции) равнялись

$$[A] = 0,6 + 2,16 = 2,76 \text{ моль/л}$$

$$[B] = 1,2 + 4,32 = 5,54 \text{ моль/л}$$

Пример 4. Смешивают 8 молей SO_2 с 4 молями O_2 . Реакция протекает в закрытом сосуде при постоянной температуре. К моменту наступления равновесия в смеси остается 20% первоначального количества SO_2 . Определить давление газовой смеси при равновесии, если первоначальное давление равнялось 3 ат.

Решение. Происходящая реакция выражается уравнением



По условию задачи к моменту наступления равновесия остается 20% SO_2 , т. е. 1,6 моля; следовательно, число прореагировавших молей SO_2 равно 6,4. Так как согласно уравнению реакции на каждые 2 моля SO_2 расходуется 1 моль O_2 , то число прореагировавших молей O_2 должно равняться 3,2, а оставшихся 0,8. Число молей SO_3 , образовавшихся в результате реакции, равно числу прореагировавших молей SO_2 , т. е. 6,4. Таким образом, общее число молей всех трех веществ при равновесии будет равно

$$1,6 + 0,8 + 6,4 = 8,8 \text{ моля}$$

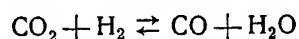
В закрытом сосуде при постоянной температуре давление газа прямо пропорционально числу находящихся в сосуде

молей. Первоначальное давление газовой смеси равнялось 3 ат, а число молей 12. Давление при равновесии (p) определится из пропорции

$$12 : 8,8 = 3 : p$$

$$p = \frac{8,8 \cdot 3}{12} = 2,2 \text{ ат}$$

Пример 5. Константа равновесия для реакции



при 850° равна единице. Исходные концентрации углекислого газа и водорода равнялись

$$[\text{CO}_2] = 0,2 \text{ моль/л} \quad [\text{H}_2] = 0,8 \text{ моль/л}$$

Рассчитать, при каких концентрациях всех четырех веществ установится равновесие.

Решение. Обозначим число молей CO_2 , прореагировавших к моменту наступления равновесия, на каждый литр смеси через x . Из уравнения реакции видно, что одновременно должно было прореагировать x молей H_2 . Такое же число молей CO и H_2O должно было образоваться в результате реакции. Поэтому концентрации всех четырех веществ при наступлении равновесия могут быть выражены так:

$$[\text{CO}] = [\text{H}_2\text{O}] = x \quad [\text{CO}_2] = 0,2 - x$$

$$[\text{H}_2] = 0,8 - x$$

Подставляя эти величины в формулу константы равновесия для данной реакции, получаем

$$\frac{x^2}{(0,2 - x)(0,8 - x)} = 1$$

Решая это уравнение, находим, что $x = 0,16 \text{ моль/л}$. Следовательно, при наступившем равновесии

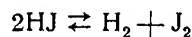
$$[\text{CO}] = [\text{H}_2\text{O}] = 0,16 \text{ моль/л}$$

$$[\text{CO}_2] = 0,2 - 0,16 = 0,04 \text{ моль/л}$$

$$[\text{H}_2] = 0,8 - 0,16 = 0,64 \text{ моль/л}$$

Пример 6. Иодистый водород диссоциирует при нагревании на иод и водород. При некоторой температуре константа равновесия этой реакции равняется 1/64. Рассчитать, сколько процентов иодистого водорода диссоциирует при этой температуре.

Р е ш е н и е. Диссоциация иодистого водорода выражается уравнением



Предположим, что начальная концентрация HI равнялась 2 моль/л и что к моменту наступления равновесия из каждой двух молей HI диссоциировало по x молей. Так как из 2 молей HI образуется 1 моль H_2 и 1 моль I_2 , то из x молей HI должно образоваться $\frac{x}{2}$ молей H_2 и столько же молей I_2 . Следовательно, концентрации иодистого водорода, водорода и иода при равновесии могут быть выражены так:

$$[\text{HI}] = (2 - x) \text{ моль/л} \quad [\text{H}_2] = [\text{I}_2] = \frac{x}{2} \text{ моль/л}$$

Подставляем эти значения в формулу константы равновесия для данной реакции

$$\frac{1}{64} = \frac{\left(\frac{x}{2}\right)^2}{(2-x)^2}$$

Извлекая из обеих частей уравнения квадратный корень, получаем

$$\frac{1}{8} = \frac{x}{2(2-x)}$$

откуда

$$x = 0,4 \text{ моль/л}$$

Таким образом, из каждой 2 молей HI к моменту наступления равновесия диссоциирует 0,4 моля, что составляет 20% от исходного количества иодистого водорода.

2. Смещение химического равновесия

Состояние химического равновесия в основном зависит от трех величин: а) от концентраций реагирующих веществ, б) температуры и в) давления, если в реакции участвуют газы или пары. При изменении хотя бы одной из указанных величин равновесие нарушается и концентрации всех участвующих в реакции веществ начинают изменяться. Изменение концентраций продолжается до тех пор, пока произведение концентраций образующихся веществ, деленное на произведение концентраций вступающих в реакцию веществ, не станет равно константе равновесия данной реакции при данной температуре, т. е. пока скорости прямой и обратной

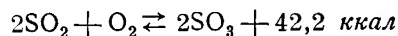
реакций не сравниваются. Тогда снова устанавливается равновесие, но уже при иных, чем раньше, концентрациях.

Процесс изменения концентраций, вызванный нарушением равновесия, называется *смещением*, или *сдвигом* равновесия. Если при этом увеличиваются концентрации веществ, стоящих в правой части уравнения, то говорят, что равновесие смещается вправо; при увеличении концентраций веществ, стоящих в левой части уравнения, говорят о смещении равновесия влево.

Направление, в котором смещается равновесие, определяется следующим правилом:

Если изменить одно из условий, при которых система находится в состоянии химического равновесия, например концентрацию какого-либо из реагирующих веществ или температуру, или давление, то равновесие смещается в направлении той реакции, которая стремится восстановить прежние условия, т. е. прежнюю величину измененной концентрации или прежнюю температуру, или прежнее давление (принцип Ле-Шателье)

Так, например, в случае реакции



могут произойти следующие сдвиги равновесия:

1. При увеличении концентрации SO_2 или O_2 или при уменьшении концентрации SO_3 равновесие сдвинется вправо, так как при этом концентрации сернистого газа и кислорода снова уменьшатся, а концентрация серного ангидрида увеличится. Наоборот, уменьшение концентрации SO_2 или O_2 или увеличение концентрации SO_3 вызовет сдвиг равновесия влево, сопровождающийся увеличением концентраций сернистого газа и кислорода и одновременным уменьшением концентрации серного ангидрида.

2. При понижении температуры равновесие сдвинется вправо, так как реакция образования серного ангидрида сопровождается выделением тепла, и, следовательно, указанный сдвиг равновесия снова повысит температуру. Если, наоборот, повысить температуру, то произойдет сдвиг равновесия влево, в направлении реакции, идущей с поглощением тепла.

3. При увеличении давления путем сжатия смеси реагирующих веществ равновесие сдвинется вправо, так как при таком сдвиге давление снова понизится вследствие уменьшения общего числа молекул в смеси (из каждых двух мо-

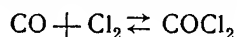
лекул сернистого газа и одной молекулы кислорода образуются только две молекулы серного ангидрида. Уменьшение давления вызовет сдвиг равновесия влево, сопровождающийся увеличением общего числа молекул, вследствие чего давление снова повысится.

Во всех указанных выше случаях непосредственной причиной смещения равновесия является нарушение равенства скоростей прямой и обратной реакций.

Если от изменения концентраций, температуры или давления скорости прямой и обратной реакций изменяются одинаково, то никакого смещения равновесия не происходит. Если же скорость прямой реакции увеличивается или уменьшается в большее число раз, чем скорость обратной реакции, то равновесие не может сохраниться и начинает смещаться в направлении той реакции, скорость которой стала теперь больше. Смещение равновесия продолжается до тех пор, пока скорости обеих реакций не сравняются.

Таким образом, вопрос о смещении равновесия и о направлении, в котором оно должно сместиться, во многих случаях может быть решен также и на основании расчета изменения скоростей прямой и обратной реакций.

Пример. При нагревании смеси окиси углерода с хлором в закрытом сосуде устанавливается равновесие



Как изменятся скорости прямой и обратной реакций, если при неизменной температуре увеличить давление путем уменьшения объема газовой смеси вдвое? Вызовет ли это изменение скоростей смещение равновесия?

Решение. Пусть концентрации CO , Cl_2 и COCl_2 до изменения объема (т. е. при равновесии) равнялись

$$[\text{CO}] = a \quad [\text{Cl}_2] = b \quad [\text{COCl}_2] = c$$

При этих условиях скорость прямой реакции

$$v_{\text{прям.}} = K \cdot ab$$

а скорость обратной реакции

$$v_{\text{обр.}} = K_1 \cdot c$$

После уменьшения объема газовой смеси в два раза во столько же раз увеличатся концентрации всех трех газов, и скорости обеих реакций станут соответственно равны

$$v'_{\text{прям.}} = K \cdot 2a \cdot 2b = K \cdot 4ab$$

$$v'_{\text{обр.}} = K_1 \cdot 2c$$

Разделив $v'_{\text{прям.}}$ на $v_{\text{прям.}}$, найдем, во сколько раз увеличится скорость прямой реакции

$$\frac{v'_{\text{прям.}}}{v_{\text{прям.}}} = \frac{K \cdot 4ab}{K \cdot ab} = 4$$

Так же найдем увеличение скорости обратной реакции

$$\frac{v'_{\text{обр.}}}{v_{\text{обр.}}} = \frac{K_1 \cdot 2c}{K_1 \cdot c} = 2$$

Таким образом, скорость прямой реакции увеличится в четыре раза, а обратной всего лишь в два раза. Так как равновесие может существовать только при равенстве скоростей обеих реакций, то, очевидно, в рассматриваемом нами случае равновесие нарушится и начнет смещаться в сторону реакции, которая теперь идет с большей скоростью, т. е. в направлении образования COCl_2 .

Нетрудно убедиться, что, применяя для решения этой задачи принцип Ле-Шателье, мы пришли бы к такому же выводу.

ЗАДАЧИ

287. Концентрация газа равна 3 моль/л. Под каким давлением находится газ, если температура его равна 0° ?

288. Выразите в молях на литр концентрацию газа, взятого при нормальных условиях.

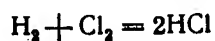
289. Считая, что атмосферный воздух содержит 20% кислорода по объему, выразите в молях на литр концентрацию кислорода в атмосферном воздухе при нормальном давлении и температуре 0° .

290. Смешивают 2 л раствора вещества А с 3 л раствора вещества В. Концентрация вещества А до смешения равнялась 0,8 моль/л, а вещества В—1 моль/л. Рассчитайте концентрации веществ А и В в первый момент после смешения.

291. Напишите математические выражения для скоростей следующих реакций:

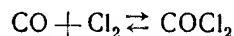


292. Газовая смесь состоит из водорода и хлора. Реакция идет по уравнению



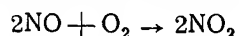
Как изменится скорость реакции, если увеличить давление в 3 раза?

293. Взаимодействие между окисью углерода и хлором идет по уравнению



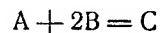
Концентрация окиси углерода 0,3 *моль/л*, а хлора 0,2 *моль/л*. Как изменится скорость прямой реакции, если увеличить концентрацию хлора до 0,6 *моль/л*, а концентрацию окиси углерода до 1,2 *моль/л*?

294. Как изменится скорость реакции



протекающей в закрытом сосуде, если увеличить давление в четыре раза?

295. Реакция между веществами А и В выражается уравнением



Начальная концентрация вещества А равна 0,3 *моль/л*, а вещества В равна 0,5 *моль/л*. Константа скорости реакции равна 0,4. Найдите начальную скорость реакции и скорость реакции по истечении некоторого времени, когда концентрация вещества А уменьшится на 0,1 моля.

296. В два сосуда одинаковой емкости введены: в первый — 1 граммолекула газа А и 2 граммолекулы газа В, во второй — 2 граммолекулы газа А и 1 граммолекула газа В. Температура обоих сосудов одинакова. С одинаковой ли скоростью будет протекать реакция между А и В в том и другом сосуде в следующих случаях:

а) если она выражается уравнением $\text{A} + \text{B} = \text{C}$;

б) если она выражается уравнением $2\text{A} + \text{B} = \text{D}$?

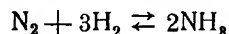
297. При 150° некоторая реакция заканчивается в 16 мин. Принимая температурный коэффициент реакции равным 2,5, рассчитайте, через сколько минут закончилась бы эта же реакция при 200° и при 80°.

298. Равновесие реакции $\text{H}_2 + \text{J}_2 \rightleftharpoons 2\text{HJ}$ установилось при следующих концентрациях участвующих в ней веществ:

$[\text{H}_2] = 0,25 \text{ моль/л}$ $[\text{J}_2] = 0,05 \text{ моль/л}$ $[\text{HJ}] = 0,9 \text{ моль/л}$

Определите исходные концентрации иода и водорода.

299. При состоянии равновесия системы

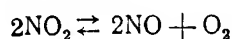


концентрации участвующих в реакции веществ были:

$[\text{N}_2] = 3 \text{ моль/л}$ $[\text{H}_2] = 9 \text{ моль/л}$ $[\text{NH}_3] = 4 \text{ моль/л}$

Каковы были исходные концентрации водорода и азота?

300. При нагревании NO_2 в закрытом сосуде до некоторой температуры равновесие реакции



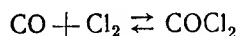
установилось при следующих концентрациях:

$$[\text{NO}_2] = 0,06 \text{ моль/л} \quad [\text{NO}] = 0,24 \text{ моль/л}$$

$$[\text{O}_2] = 0,12 \text{ моль/л}$$

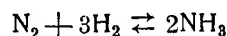
Найдите константу равновесия для этой температуры и исходную концентрацию NO_2 .

301. Исходные вещества при реакции



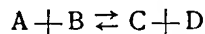
взяты в эквивалентных количествах. Реакция протекает в закрытом сосуде при постоянной температуре. К моменту наступления равновесия остается 50% начального количества CO . Каково будет давление при равновесии, если первоначальное давление смеси равнялось 1 ат?

302. Как изменится давление к моменту наступления равновесия при реакции



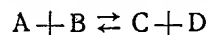
протекающей в закрытом сосуде при постоянной температуре, если начальные концентрации азота и водорода равняются соответственно 2 и 6 моль/л и если равновесие наступает тогда, когда прореагирует 10% первоначального количества азота?

303. Обратимая реакция выражается уравнением



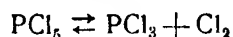
Константа равновесия равна единице. Начальная концентрация вещества А равна 2 моль/л. Рассчитайте, сколько процентов вещества А подвергается превращению при условии, что начальные концентрации вещества В равны 2, 10 и 20 моль/л.

304. Обратимая реакция выражается уравнением



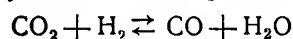
Константа равновесия равна 2,5. Может ли существовать равновесие при равенстве концентраций всех четырех веществ? Дайте мотивированный ответ.

305. Пятихлористый фосфор диссоциирует при нагревании по уравнению



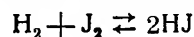
При некоторой температуре из 2 молей PCl_5 , находящихся в закрытом сосуде емкостью 10 л, подвергаются разложению 1,5 моля. Вычислите константу равновесия при этой температуре.

306. При нагревании смеси углекислого газа и водорода в закрытом сосуде устанавливается равновесие



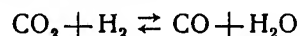
Константа равновесия при 850° равна единице. Сколько процентов CO_2 подвергнется превращению в CO при 850° , если смешать 1 граммолекулу CO_2 с 5 граммолекулами H_2 ?

307. Константа равновесия для реакции



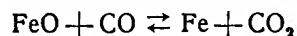
при 445° равна 50. Сколько молей водорода надо взять на 1 моль иода, чтобы 90% последнего превратить в иодистый водород?

308. При нагревании смеси углекислого газа и водорода до 850° установилось равновесие



Константа равновесия при указанной температуре равна единице. В каких объемных отношениях были смешаны углекислый газ и водород, если к моменту наступления равновесия 90% водорода превратилось в воду?

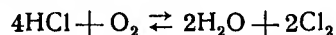
309. При 1000° константа равновесия реакции



равна 0,5. Чему равны равновесные концентрации CO и CO_2 , если их начальные концентрации следующие:

$$[\text{CO}] = 0,05 \text{ моль/л} \quad [\text{CO}_2] = 0,01 \text{ моль/л}$$

310. При соответствующих условиях хлористый водород окисляется кислородом с образованием водяного пара и хлора, причем устанавливается равновесие

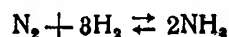


Реакция экзотермична. Ответьте на следующие вопросы:

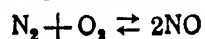
а) в какую сторону сместится равновесие при повышении температуры?

б) изменится ли равновесие, если при постоянной температуре увеличить давление?

311. Почему изменение давления смещает равновесие реакции



и не смещает равновесия реакции

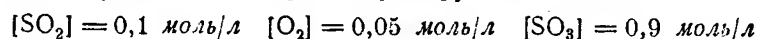


312. Реакция восстановления углекислого газа углем выражается уравнением



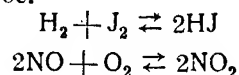
В какую сторону сместится равновесие при повышении температуры? Нарушится ли равновесие при увеличении давления?

313. Равновесие реакции $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{SO}_3$ установилось при следующих концентрациях реагирующих веществ:



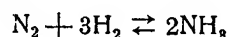
Рассчитайте, как изменится скорость прямой и скорость обратной реакции, если уменьшить объем, занимаемый газами, в 2 раза. Сместится ли при этом равновесие? Ответ дайте на основании расчета.

314. Рассчитайте, как изменятся скорости прямых и обратных реакций в указанных ниже равновесных системах при увеличении давления вдвое.



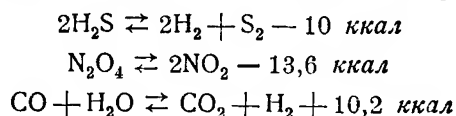
Исходя из результатов расчета, решите, как отразится на равновесии этих систем указанное выше изменение давления.

315. Реакция образования аммиака из водорода и азота выражается уравнением



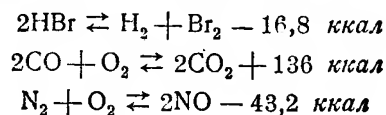
Докажите, исходя из равенства скоростей прямой и обратной реакций при равновесии, что при увеличении давления равновесие должно сместиться в сторону образования аммиака.

316. В какую сторону сместятся равновесия реакций



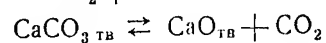
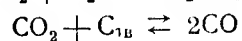
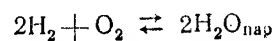
а) при понижении температуры; б) при повышении давления?

317. Как повлияет повышение давления при неизменной температуре на равновесие следующих систем:

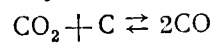


В какую сторону сместятся равновесия при повышении температуры?

318. Как отразится повышение давления на следующих равновесиях:



319. Укажите, какими изменениями концентраций реагирующих веществ можно сдвинуть вправо равновесие реакции



Каким тепловым эффектом сопровождается образование CO в данной реакции, если повышение температуры смещает равновесие вправо?

ГЛАВА XI

РАСТВОРЫ

1. Концентрация растворов

Концентрацией раствора называется весовое содержание растворенного вещества в определенном весовом количестве или в определенном объеме раствора.

В химии пользуются тремя способами выражения концентрации:

а) *Процентная концентрация* — выражается в весовых процентах, т. е. указывается число граммов растворенного вещества, содержащееся в 100 г раствора. Например, 20 %-ный раствор селитры это такой раствор, в 100 г которого содержится 20 г селитры и 80 г воды.

б) *Молярная концентрация* — выражается числом грамм-молекул (молей) растворенного вещества, содержащихся в 1 л раствора. Раствор, содержащий в литре 1 моль растворенного вещества, называется одномолярным или просто молярным (1М раствор); раствор, содержащий 0,1 моля, называется децимолярным (0,1М раствор) и т. д.

в) *Нормальная концентрация* — выражается числом граммэквивалентов растворенного вещества, содержащихся в 1 л раствора. Раствор называется однонормальным или нормальным, если в литре его содержится 1 граммэквивалент растворенного вещества (1 н. раствор); полунормальным, если он содержит 0,5 граммэквивалента в литре (0,5 н. раствор), и т. д.

При определении количества вещества, необходимого для приготовления раствора той или иной нормальности, надо иметь в виду следующее.

Эквивалент кислоты равен ее молекулярному весу, деленному на основность. Например, эквивалент фосфорной кислоты H_3PO_4 равняется

$$\frac{\text{H}_3\text{PO}_4}{3} = \frac{98}{3} = 32,7$$

Эквивалент основания равен молекулярному весу основания, деленному на валентность образующего основание металла. Например, эквивалент гидрата окиси кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$ равняется

$$\frac{\text{Ca}(\text{OH})_2}{2} = \frac{74}{2} = 37$$

Эквивалент соли равен ее молекулярному весу, деленному на валентность металла и на число его атомов в молекуле соли. Например, эквивалент $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ равняется

$$\frac{\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3}{3 \cdot 2} = \frac{400}{6} = 66,7$$

Иногда концентрация раствора характеризуется его удельным весом. Так как удельный вес раствора зависит от концентрации растворенного вещества, то, определив удельный вес, можно по соответствующим таблицам найти концентрацию раствора.

А. Приготовление растворов различной концентрации

Расчеты, связанные с приготовлением растворов различной концентрации, могут быть иллюстрированы следующими примерами.

Пример 1. Сколько граммов едкого натра потребуется для приготовления 3 л 10%-ного раствора?

Решение. Находим в таблицах удельный вес 10%-ного раствора едкого натра. Он равняется 1,115.

Вычисляем вес 3 л раствора, исходя из зависимости между весом g , объемом v и удельным весом d :

$$g = v \cdot d = 3000 \cdot 1,115 = 3345 \text{ г}$$

По условию задачи 10% этого веса должен составлять едкий натр. Следовательно, количество едкого натра, необходимое для приготовления 3 л 10%-ного раствора, равняется

$$\frac{3345 \cdot 10}{100} = 334,5 \text{ г}$$

Пример 2. Сколько граммов медного купороса $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ нужно отвесить для приготовления 1 кг 8%-ного раствора, рассчитанного на безводную соль?

Решение. 1 кг 8%-ного раствора должен содержать $1000 \cdot 0,08 = 80 \text{ г}$ безводной соли. Грамммолекула CuSO_4

весит 160 г, а грамммолекула $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ весит 250 г. Следовательно, в 250 г медного купороса содержится 160 г безводной соли.

Количество медного купороса, содержащее 80 г безводной соли, находим из пропорции

$$250 : 160 = x : 80$$

откуда

$$x = \frac{250 \cdot 80}{160} = 125 \text{ г}$$

Таким образом, для приготовления 1 кг 8%-ного раствора нужно отвесить 125 г медного купороса и взять $1000 - 125 = 875$ г воды.

Пример 3. Сколько граммов азотной кислоты содержится в 200 мл 0,1 М раствора?

Решение. Грамммолекула HNO_3 весит 63 г. Следовательно, в 1 л 0,1 М раствора содержится 6,3 г HNO_3 , а в 200 мл

$$\frac{6,3 \cdot 200}{1000} = 1,26 \text{ г}$$

Пример 4. Какова молярность (т. е. число молей в литре) раствора, содержащего в 300 мл 10,5 г КОН?

Решение. Находим количество КОН, содержащееся в литре данного раствора, из пропорции

$$300 : 1000 = 10,5 : x$$

$$x = 35 \text{ г}$$

Грамммолекула КОН весит 56 г. Следовательно, 35 г составляют $\frac{35}{56} = 0,625$ грамммолекулы. Молярность раствора равняется 0,625.

Пример 5. Сколько граммов кристаллической соды $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ надо взять для приготовления 1 л 0,1 н. раствора?

Решение. Молекулярный вес $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ равняется 286. Граммэквивалент соды весит $286 : 2 = 143$ г; 0,1 граммэквивалента равняется 14,3 г. Следовательно, для приготовления 1 л 0,1 н. раствора надо взять 14,3 г кристаллической соды, растворить в мерной колбе в небольшом количестве воды и добавить воды до 1 л.

Пример 6. Сколько воды надо прибавить к 200 мл 68%-ного раствора HNO_3 (уд. вес 1,4), чтобы получить 10%-ный раствор?

Решение. 200 мл 68%-ного раствора HNO_3 весят $1,4 \cdot 200 = 280$ г. В них содержится $280 \cdot 0,68 = 190,4$ г HNO_3 . Это же количество кислоты будет содержаться и в разбавленном растворе, составляя 10% его веса. Следовательно, весь раствор, полученный после прибавления воды, должен весить

$$\frac{190,4 \cdot 100}{10} = 1904 \text{ г}$$

Так как исходный раствор весит 280 г, то количество воды, которое нужно прибавить к нему для получения раствора требуемой концентрации, составляет

$$1904 - 280 = 1624 \text{ г}$$

Пример 7. Сколько миллилитров 96%-ной серной кислоты (уд. вес 1,84) нужно взять для приготовления 1 л 0,5 н. раствора?

Решение. Эквивалент серной кислоты равняется половине молекулярного веса, т. е. 49. Для приготовления 1 л 0,5 н. раствора потребуется 0,5 граммэквивалента, или 24,5 г.

1 мл 96%-ной серной кислоты весит 1,84 г и содержит $\frac{1,84 \cdot 96}{100} = 1,77$ г H_2SO_4 . Следовательно, для приготовления 0,5 н. раствора надо взять 96%-ной кислоты

$$\frac{24,5}{1,77} = 13,84 \text{ мл}$$

Пример 8. Имеется 2 н. раствор гидрата окиси бария $\text{Ba}(\text{OH})_2$. Как приготовить из него 1 л 0,1 н. раствора?

Решение. Литр 2 н. раствора содержит 2 граммэквивалента $\text{Ba}(\text{OH})_2$, а литр 0,1 н. раствора — 0,1 граммэквивалента $\text{Ba}(\text{OH})_2$. Это количество $\text{Ba}(\text{OH})_2$ будет содержаться в $\frac{1000 \cdot 0,1}{2} = 50$ мл 2 н. раствора. Следовательно, для приготовления 1 л 0,1 н. раствора надо взять 50 мл 2 н. раствора и разбавить их водой до 1 л.

Б. Переход от одного выражения концентрации к другому

При химических расчетах часто приходится переводить процентную концентрацию в молярную или в нормальную, и наоборот. Приведем примеры.

Пример 1. Какова молярность 20%-ного раствора соляной кислоты уд. веса 1,10?

Решение. 1 л 20%-ного раствора HCl весит 1100 г и содержит $1100 \cdot 0,20 = 220$ г HCl. Грамммолекула HCl весит 36,5 г. Для определения молярности 20%-ного раствора находим, сколько молей HCl составляют 220 г:

$$220 : 36,5 = 6,03$$

Молярность раствора равняется 6,03.

Пример 2. Сколько процентов NaOH содержит 2 н. раствор уд. веса 1,08?

Решение. Молекулярный вес NaOH равен 40. Литр 2 н. раствора весит $1,08 \cdot 1000 = 1080$ г и содержит 2 моля или 80 г NaOH. Процентное содержание NaOH в растворе находим из пропорции

$$1080 : 80 = 100 : x$$

$$x = 7,4\%$$

В. Расчет объемов растворов, необходимых для реакции

Знание концентраций растворов, применяемых при проведении различных реакций, позволяет вычислять, в каких объемных отношениях они должны быть смешиваемы, чтобы растворенные вещества реагировали без остатка. Эти вычисления особенно упрощаются, если пользоваться растворами определенной нормальности. Так как весовые количества реагирующих веществ пропорциональны их эквивалентам, то очевидно, что для реакций всегда нужно брать такие объемы растворов, которые содержали бы одинаковое число граммэквивалентов растворенных веществ. При одинаковой нормальности растворов эти объемы всегда будут равны между собой, при различной — обратно пропорциональны нормальностям. Обозначив объемы затрачиваемых на реакцию растворов через v_1 и v_2 , а их нормальности, т. е. концентрации, выраженные в г-экв/л, соответственно через C_1 и C_2 , можем написать:

$$v_1 : v_2 = C_2 : C_1$$

или

$$v_1 \cdot C_1 = v_2 \cdot C_2$$

Пример 1. Сколько миллилитров 0,25 н. раствора серной кислоты потребуется для осаждения в виде BaSO_4 всего бария, содержащегося в 20 мл 2 н. раствора BaCl_2 ?

Решение. Обозначив искомый объем раствора серной кислоты через v , составляем пропорцию

$$v : 20 = 2 : 0,25$$

откуда

$$v = \frac{20 \cdot 2}{0,25} = 160 \text{ мл.}$$

Пример 2. Для нейтрализации 42 мл раствора кислоты потребовалось прилить к ним 14 мл 0,3 н. раствора щелочи. Определить нормальность кислоты.

Решение. Задача решается аналогично предыдущей. Обозначив нормальность кислоты через x , составляем пропорцию

$$x : 0,3 = 14 : 42$$

откуда

$$x = \frac{0,3 \cdot 14}{42} = 0,1$$

ЗАДАЧИ

320. Выразите в процентах концентрацию раствора, содержащего в 280 г воды 40 г сахара.

321. Какое количество буры $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ и сколько воды надо взять для приготовления 2 кг 5%-ного раствора, рассчитанного на безводную соль?

322. Сколько граммов сернистокислого натрия Na_2SO_3 потребуется для приготовления 5 л 8%-ного раствора, уд. вес которого 1,075?

323. Какое количество азотнокислого натрия NaNO_3 надо взять для приготовления 300 мл 0,2М раствора?

324. Сколько граммов глауберовой соли $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ потребуется для приготовления 2 л 0,5 н. раствора Na_2SO_4 ?

325. Сколько граммов Na_2CO_3 содержится в 500 мл 0,25 н. раствора?

326. Сколько воды надо прибавить к 100 мл 20%-ного раствора H_2SO_4 (уд. веса 1,14), чтобы получить 5%-ный раствор?

327. Какой процентной концентрации получится азотная кислота, если к 500 мл 32%-ной кислоты, имеющей уд. вес 1,2, прибавить 1 л воды?

328. До какого объема надо разбавить 500 мл 20%-ного раствора NaCl (уд. веса 1,152), чтобы получить 4,5%-ный раствор (уд. вес 1,029)?

329. Сколько миллилитров 2 н. раствора серной кислоты потребуется для приготовления 500 мл 0,5 н. раствора?

330. Сколько воды надо прибавить к 100 мл 1 н. раствора, чтобы получить 0,05 н. раствор?

331. Имеется 2 М раствор соды Na_2CO_3 . Как приготовить из него 1 л 0,25 н. раствора?

332. Сколько миллилитров концентрированной соляной кислоты (уд. веса 1,19), содержащей 38% HCl , нужно взять для приготовления 1 л 2 н. раствора?

333. К 100 мл 96%-ной серной кислоты (уд. веса 1,84) прибавили 400 мл воды. Получился раствор уд. веса 1,225. Выразите его концентрацию в процентах и в граммеэквивалентах на литр.

334. Рассчитайте нормальность концентрированной соляной кислоты, имеющей уд. вес 1,18 и содержащей 36,5% HCl .

335. Сколько миллилитров 10%-ной серной кислоты уд. веса 1,07 потребуется для нейтрализации раствора, содержащего 16 г NaOH ?

336. Имеется раствор, содержащий 18,9 г HNO_3 в литре, и раствор, содержащий 3,2 г NaOH в литре. В каком объемном отношении нужно их смешать для получения нейтрального раствора?

337. Сколько миллилитров 0,2 н. раствора щелочи потребуется для осаждения в виде $\text{Fe}(\text{OH})_3$ всего железа, содержащегося в 100 мл 0,5 н. раствора FeCl_3 ?

338. Сколько граммов CaCO_3 выпадет в осадок, если к 400 мл 0,5 н. раствора хлористого кальция CaCl_2 прибавить избыток раствора соды?

339. Для нейтрализации 20 мл 0,1 н. раствора кислоты потребовалось 8 мл раствора едкого натра. Сколько граммов едкого натра содержит 1 л этого раствора?

340. Для нейтрализации 30 мл 0,1 М раствора щелочи потребовалось 12 мл раствора кислоты. Определите нормальность кислоты.

341. На нейтрализацию 40 мл раствора щелочи пошло 24 мл 0,5 н. раствора серной кислоты. Какова нормальность раствора щелочи? Сколько 0,5 н. соляной кислоты потребовалось бы для той же цели?

342. Вычислите эквиваленты извести $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и фосфорной кислоты H_3PO_4 . По найденным эквивалентам рассчитайте, сколько граммов извести потребуется для нейтрализации 150 г фосфорной кислоты. Произведите такой же расчет по уравнению реакции.

343. Вычислите эквиваленты серной кислоты и гидрата окиси алюминия. По найденным эквивалентам рассчитайте, сколько

серной кислоты потребуется для превращения 65 г гидрата окиси алюминия в сернокислый алюминий. Произведите такой же расчет по уравнению реакции.

344. Для нейтрализации раствора, содержащего 2,25 г кислоты, потребовалось 25 мл 2 н. раствора щелочи. Определите из этих данных эквивалент кислоты.

345. На нейтрализацию 20 мл раствора, содержащего в 1 л 12 г щелочи, было израсходовано 24 мл 0,25 н. раствора кислоты. Рассчитайте эквивалент щелочи.

2. Растворимость

Мерой растворимости вещества служит концентрация его насыщенного раствора. Очень часто эта концентрация выражается числом граммов растворенного вещества, содержащихся в 100 г растворителя.

Растворимость большинства твердых веществ увеличивается с повышением температуры. Наоборот, растворимость газов всегда уменьшается с повышением температуры. Зависимость между растворимостью и температурой обычно выражается графически кривыми растворимости, причем на оси абсцисс откладывают температуру, а на оси ординат — растворимость. Кривые растворимости позволяют быстро находить растворимость различных веществ при заданной температуре.

На растворимость газов, кроме температуры, большое влияние оказывает давление, под которым находится растворяющийся газ.

Весовое количество газа, растворенного в данном количестве жидкости, прямо пропорционально давлению газа. Но так как с увеличением или уменьшением давления во столько же раз увеличивается (или уменьшается) вес единицы объема газа, то можно сказать, что *объем растворенного газа не зависит от давления.* Ввиду последнего обстоятельства растворимость газов обычно выражают числом объемов газа, растворяющихся при данной температуре в 100 объемах растворителя.

Если над жидкостью находится смесь газов, то каждый из них растворяется соответственно своему парциальному давлению.

Приведем несколько примеров расчетов, требующих знания растворимости веществ.

Пример 1. Для очистки селитры KNO_3 кристаллизацией 300 г ее были растворены при нагревании в 200 г воды.

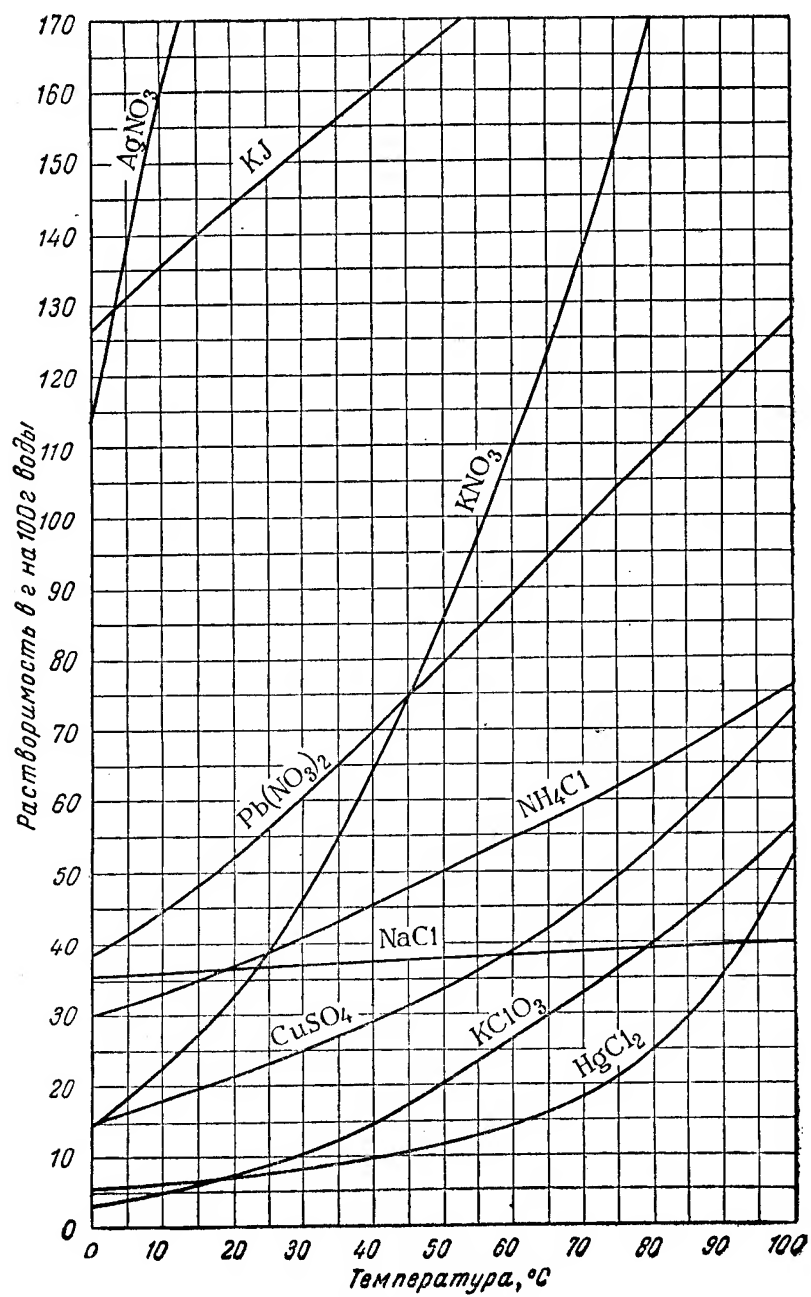


Рис. 2. Кривые растворимости различных солей.

Сколько граммов селитры выделится из этого раствора, если охладить его до 10° ?

Решение. По графику растворимости (рис. 2) находим, что растворимость селитры при 10° составляет ~ 22 г на 100 г воды или 44 г на 200 г воды. Следовательно, при охлаждении раствора до 10° из него должно выделиться $300 - 44 = 256$ г селитры.

Пример 2. Сколько граммов растворенного кислорода содержится в 100 л дождевой воды при 20° , если растворимость его при этой температуре составляет 3,1 мл на 100 мл воды?

Решение. Принимая объемное содержание кислорода в атмосферном воздухе равным 20%, находим, что парциальное давление кислорода равно 0,2 ат. Так как в 100 мл воды при 20° растворяется 3,1 мл кислорода, то в 100 л растворится 3,1 л.

Полученный объем относится к температуре 20° и давлению 0,2 ат. Чтобы определить вес растворенного кислорода, воспользуемся уравнением

$$pv = \frac{m}{M} \cdot RT$$

откуда

$$m = \frac{pv \cdot M}{RT} = \frac{0,2 \cdot 3,1 \cdot 32}{0,082 \cdot 293} = 0,826 \text{ г}$$

ЗАДАЧИ

*346. Выразите в процентах концентрацию насыщенного при 20° раствора поваренной соли.

*347. В 500 г воды растворяют при нагревании 300 г хлористого аммония NH_4Cl . Сколько граммов NH_4Cl выделится из раствора при охлаждении его до 15° ?

*348. Сколько литров воды потребуется для растворения 100 г HgCl_2 при 20° ?

*349. Сколько граммов бертолетовой соли KClO_3 выкристаллизуется из 70 г насыщенного при 80° раствора, если охладить последний до 10° ?

*350. Сколько граммов азотнокислого калия KNO_3 выкристаллизуется из 105 г насыщенного при 60° раствора, если охладить его до 0° ?

*351. При какой температуре растворимость азотнокислого свинца $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ и растворимость азотнокислого калия KNO_3 одинаковы?

• Задачи, отмеченные звездочкой (*), решаются с помощью кривой растворимости (рис. 2).

* 352. При какой температуре 20%-ный раствор сернистой меди CuSO_4 будет насыщенным?

353. Имеется насыщенный при 20° раствор медного купороса. Останется ли он насыщенным при охлаждении ниже 20°, если из него при этом выделяются кристаллы? Останется ли он насыщенным при нагревании выше 20°?

354. Литр воды насыщен углекислым газом при 0° под давлением 5 ат. Какой объем займет растворенный углекислый газ, если его выделить из воды и привести к нормальным условиям (растворимость углекислого газа при 0° равна 171 мл на 100 мл воды)?

355. Растворимость аммиака при 20° равна 702 мл на 1 мл воды. Выразите концентрацию получающегося раствора в процентах.

356. Литр воды при 0° растворяет 4,62 л сероводорода. Под каким давлением надо растворять сероводород, чтобы получить 5%-ный раствор?

357. Принимая, что атмосферный воздух содержит по объему 21% кислорода и 79% азота, рассчитайте процентный состав воздуха, выделенного из воды, имевшей температуру 20°, если растворимость кислорода при этой температуре составляет 31 мл, а азота 15,4 мл на литр воды.

358. Газовая смесь, содержащая 40% закиси азота и 60% окиси азота (по объему), растворялась при температуре 17° и постоянном давлении в воде до полного насыщения последней. Каков будет процентный состав смеси после выделения ее из воды, если растворимость закиси азота при 17° составляет 690 мл, а растворимость окиси азота 50 мл на литр воды?

3. Теплота растворения и гидратации

Растворение различных веществ в воде сопровождается выделением или поглощением тепла. При растворении твердого вещества разрушается его кристаллическая решетка и частицы вещества равномерно распределяются по всей массе раствора. Этот процесс требует затраты энергии и, следовательно, должен сопровождаться поглощением тепла. Но одновременно с ним часто протекает еще другой процесс — образование гидратов, сопровождающийся выделением тепла.

В зависимости от того, какой из двух указанных процессов сопровождается большим тепловым эффектом, общий тепловой эффект растворения будет или положительным, или отрицательным.

Растворение жидкостей в большинстве случаев сопровождается выделением тепла. Точно так же выделяется тепло и при растворении газов.

Количество тепла, выделяющегося или поглощающегося при растворении одной граммолекулы вещества, называется *теплотой растворения*. Определив из опыта теплоту растворения безводного твердого вещества и теплоту растворения его кристаллогидрата (если последний вообще может быть получен), можно рассчитать и теплоту гидратации *.

Пример 1. При растворении 10 г хлористого аммония NH_4Cl в 240 г воды температура последней понизилась на 3° . Определить теплоту растворения NH_4Cl .

Решение. Принимая удельную теплоемкость раствора ввиду его малой концентрации за единицу, вычисляем по понижению температуры количество поглощенного тепла (Q):

$$Q = 240 \cdot 3 = 720 \text{ кал}$$

Граммоллекула NH_4Cl весит 53,5 г. Количество поглощенного тепла пропорционально количеству растворенного NH_4Cl . Обозначив теплоту растворения через q , составляем пропорцию

$$q : 720 = 53,5 : 10$$

откуда

$$q = 3852 \text{ кал} = 3,85 \text{ ккал}$$

Теплота растворения хлористого аммония равна $-3,85 \text{ ккал}$.

Пример 2. При растворении 1 моля безводного хлористого кальция выделяется 17,4 ккал, а при растворении 1 моля кристаллогидрата $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ поглощается 4,3 ккал. Определить теплоту гидратации CaCl_2 .

Решение. Количество тепла, выделяющегося при растворении безводного CaCl_2 , представляет собой алгебраическую сумму двух тепловых эффектов — собственно растворения и гидратации. Так как при растворении $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ гидратация не имеет места, поскольку соль уже гидратирована, то величина $-4,3 \text{ ккал}$ и есть теплота растворения хлористого кальция. Обозначив теплоту гидратации через x , можем написать:

$$17,4 \text{ ккал} = -4,3 \text{ ккал} + x$$

откуда

$$x = 21,7 \text{ ккал}$$

* Теплоты растворения несколько изменяются в зависимости от количества взятого растворителя.

ЗАДАЧИ

359. При растворении 10 г едкого натра в 250 г воды температура повышается на $9,5^{\circ}$. Определите теплоту растворения NaOH , принимая удельную теплоемкость раствора равной единице.

360. При растворении 1 моля H_2SO_4 в 800 г воды температура повысилась на $22,9^{\circ}$. Определите теплоту растворения серной кислоты, принимая удельную теплоемкость раствора равной 0,9.

361. Теплота растворения азотнокислого аммония NH_4NO_3 равна $-6,4$ ккал. Рассчитайте, на сколько градусов понизится температура при растворении 20 г NH_4NO_3 в 180 г воды, принимая удельную теплоемкость получающегося раствора равной 0,9.

362. При растворении 32 г сернокислой меди CuSO_4 в 80 г воды выделяется 3,16 ккал, а при растворении 50 г $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ в том же количестве воды поглощается 0,56 ккал. Определите теплоту гидратации CuSO_4 .

363. Теплота растворения $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ равна $-18,8$ ккал. Рассчитайте, на сколько градусов понизится температура при растворении 0,5 моля этой соли в 1000 г воды, принимая удельную теплоемкость раствора равной единице.

364. При растворении 8 г сернокислой меди CuSO_4 в 192 г воды температура повышается на $3,95^{\circ}$. Принимая удельную теплоемкость раствора равной единице, определите теплоту гидратации CuSO_4 , если известно, что теплота растворения $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ равна $-2,8$ ккал.

365. Рассчитайте, на сколько градусов должна повыситься температура при растворении 1 моля серной кислоты в 200 г воды, приняв удельную теплоемкость раствора равной 0,75, а теплоту растворения серной кислоты равной 17,9 ккал.

4. Осмотическое давление растворов

Каждый раствор обладает определенным осмотическим давлением, величина которого для разбавленных растворов пропорциональна концентрации растворенного вещества и абсолютной температуре.

Осмотическое давление раствора по величине равно тому давлению, которое производило бы растворенное вещество, если бы оно находилось при данной температуре в газообразном состоянии и занимало объем, равный объему раствора (закон Вант-Гоффа).

Зависимость величины осмотического давления от объема раствора, количества растворенного вещества и температуры

выражается уравнением Вант-Гоффа, аналогичным уравнению состояния газа

$$PV = RT$$

где P — осмотическое давление; V — объем раствора, содержащего 1 граммолекулу растворенного вещества; R — константа, имеющая то же числовое значение, что и газовая постоянная, T — абсолютная температура.

Заменяя в этом уравнении граммолекулярный объем V на $\frac{1}{C}$, где C — концентрация раствора, выраженная в молях на литр, получаем следующее удобное для вычисления осмотического давления выражение:

$$P = CRT$$

Полученное уравнение показывает, что при неизменном объеме и постоянной температуре величина осмотического давления зависит только от числа растворенных молекул (или граммолекул), но не зависит ни от природы растворенного вещества, ни от природы растворителя. Поэтому растворы одинаковой молярности обладают при одной и той же температуре и одинаковым осмотическим давлением. В частности, растворы, содержащие в 22,4 л граммолекулу растворенного вещества, обладают при 0° осмотическим давлением, равным 1 ат. Исключение составляют растворы электролитов (кислот, щелочей и солей), у которых величина осмотического давления всегда превышает величину, вычисленную теоретически.

Указанные выше закономерности позволяют вычислять величину осмотического давления растворов неэлектролитов по их концентрации, температуре и молекулярному весу растворенного вещества. Обратно, определив из опыта величину осмотического давления и зная концентрацию раствора, можно рассчитать молекулярный вес растворенного вещества. При расчетах следует иметь в виду, что закон осмотического давления строго применим только к очень разбавленным растворам. Поэтому в случае концентрированных растворов расчеты являются лишь приближенными.

Пример 1. Как велико осмотическое давление раствора, в литре которого содержится 0,2 моля неэлектролита: а) при 0°? б) при 17°?

Решение. Осмотическое давление раствора, содержащего в литре 1 моль растворенного вещества при 0°, должно теоретически равняться 22,4 ат. Так как осмотиче-

ское давление пропорционально концентрации раствора, то для нахождения искомого осмотического давления состав-
ляем пропорцию

$$22,4 : x = 1 : 0,2$$

откуда

$$x = 4,48 \text{ ат}$$

Чтобы подсчитать величину осмотического давления при 17° , можно воспользоваться уравнением Вант-Гоффа

$$P = CRT$$

Согласно условию задачи $C = 0,2$ моля, $T = 290^\circ$. Подставляя эти величины в приведенное выше уравнение и принимая $R = 0,082$, получаем

$$P = 0,2 \cdot 0,082 \cdot 290 = 4,76 \text{ ат}$$

Пример 2. Определить молекулярный вес маннита, зная, что осмотическое давление раствора, содержащего в 250 мл 9 г маннита, равно 4,5 ат при 0° .

Решение. В литре указанного в задаче раствора содержится 36 г маннита, или $36/M$ молей, где M — искомый молекулярный вес маннита. Применяя уравнение Вант-Гоффа и имея в виду, что $C = \frac{36}{M}$, получаем

$$4,5 = \frac{36}{M} \cdot 0,082 \cdot 273$$

откуда

$$M = \frac{36}{4,5} \cdot 0,082 \cdot 273 = 179,1$$

Задачу можно решить также путем составления пропорции:

$$36 : M = 4,5 : 22,4$$

$$M = \frac{36 \cdot 22,4}{4,5} = 179,1$$

ЗАДАЧИ

366. Какой раствор обладает большим осмотическим давлением: содержащий в литре 5 г нафталина $C_{10}H_8$ или содержащий в литре 5 г антрацена $C_{14}H_{10}$? Дайте мотивированный ответ, не вычисляя величин осмотического давления.

367. Как относятся друг к другу весовые количества формалина $HCHO$ и глюкозы $C_6H_{12}O_6$, содержащиеся в равных

объемах растворов, обладающих при данной температуре одинаковым осмотическим давлением?

368. Смешивают 1 объем раствора глюкозы $C_6H_{12}O_6$ с 3 объемами раствора мочевины $CO(NH_2)_2$. Осмотическое давление первого раствора 2,8 ат, второго 1,4 ат. Температура растворов одинакова. Как велико осмотическое давление смеси при той же температуре?

369. Имеются водные растворы глицерина $C_3H_8(OH)_3$ и этилового спирта C_2H_5OH , содержащие в литре равные весовые количества растворенных веществ. Температура растворов одинакова. У какого из этих растворов осмотическое давление больше? Во сколько раз?

370. Как велико при 35° осмотическое давление раствора, содержащего в литре 0,05 моля растворенного вещества (неэлектролита)?

371. Рассчитайте величину осмотического давления раствора, содержащего в литре 3,1 г анилина $C_6H_5NH_2$ при 21° .

372. Одинаково ли осмотическое давление растворов неэлектролитов, содержащих в равных объемах при одной и той же температуре: а) равное число граммов различных растворенных веществ; б) равное число граммолекул?

373. Осмотическое давление водного раствора, содержащего в 100 мл 1 г сахара $C_{12}H_{22}O_{11}$, равно 0,655 ат при 0° . Исходя из этого, докажите, что для растворов константа в уравнении Вант-Гоффа $PV=RT$ имеет ту же числовую величину, что и для газов.

374. Сколько граммолекул неэлектролита должен содержать литр раствора, чтобы его осмотическое давление при 0° равнялось 1 ат?

375. Сколько граммов глюкозы $C_6H_{12}O_6$ должен содержать литр раствора, чтобы его осмотическое давление было таким же, как у раствора, содержащего в литре при той же температуре 3 г формалина $HCHO$?

376. Раствор, содержащий в литре 3,75 г формалина, обладает осмотическим давлением 2,8 ат при 0° . Определите молекулярный вес формалина.

377. Осмотическое давление раствора, содержащего 3 г сахара в 250 мл раствора, равно 0,82 ат при 12° . Определите молекулярный вес сахара.

5. Давление пара растворов

При растворении в жидкости какого-нибудь нелетучего вещества давление насыщенного пара этой жидкости пони-

жается. Таким образом, давление пара раствора нелетучего вещества всегда ниже давления пара чистого растворителя при той же температуре и тем ниже, чем концентрированнее раствор.

Зависимость между понижением давления пара и концентрацией раствора может быть выражена для разбавленных растворов следующим уравнением:

$$\Delta p = p \frac{n}{N}$$

где Δp — понижение давления пара, т. е. разность между давлением пара чистого растворителя и раствора; p — давление пара чистого растворителя; n — число молей растворенного вещества и N — число молей растворителя.

Указанная зависимость не распространяется, однако, на растворы электролитов. В случае концентрированных растворов также наблюдаются значительные отклонения от этой закономерности.

Пользуясь приведенным уравнением, можно: а) вычислять давление паров различных растворов по концентрации раствора и давлению пара чистого растворителя; б) вычислять молекулярные веса растворенных веществ, если известны давление пара раствора и чистого растворителя, концентрация раствора и молекулярный вес растворителя; в) производить ряд других расчетов, связанных с понижением давления пара.

Пример 1. Каково будет при 20° давление пара раствора, содержащего 0,2 моля сахара в 450 г воды?

Решение. Вычисляем, сколько молей воды содержится в 450 г ее. Так как 1 моль воды весит 18 г, то искомое число молей

$$N = 450 : 18 = 25$$

Давление пара чистой воды (p) при 20° равняется 17,5 мм; n равно 0,2 моля.

Подставляя эти данные в приведенное выше уравнение, находим величину понижения давления пара:

$$\Delta p = \frac{17,5 \cdot 0,2}{25} = 0,14 \text{ мм}$$

Следовательно, давление пара раствора равно

$$17,5 - 0,14 = 17,36 \text{ мм}$$

Пример 2. При 50° давление пара раствора, содержащего в 200 г этилового спирта C_2H_5OH 23 г растворенного вещества, равно 207,2 мм. Давление пара чистого спирта при той же температуре 219,8 мм. Определить молекулярный вес растворенного вещества.

Решение. Понижение давления пара спирта

$$\Delta p = 219,8 - 207,2 = 12,6 \text{ мм}$$

Молекулярный вес спирта 46, следовательно, число молей растворителя

$$N = 200 : 46 = 4,35 \text{ моля}$$

Подставляя эти величины в уравнение $\Delta p = p \frac{n}{N}$, находим число молей (n) растворенного вещества

$$12,6 = \frac{219,8 \cdot n}{4,35}$$

$$n = \frac{12,6 \cdot 4,35}{219,8} = 0,25 \text{ моля}$$

Согласно условию задачи 0,25 моля растворенного вещества весят 23 г, откуда молекулярный вес растворенного вещества $M = 23 : 0,25 = 92$.

ЗАДАЧИ

378. Каково будет при 65° давление пара раствора, содержащего 13,68 г сахара $C_{12}H_{22}O_{11}$ в 90 г воды, если давление водяного пара при той же температуре 187,5 мм?

379. Каково будет давление пара 10%-ного раствора мочевины $CO(NH_2)_2$ при 100° ?

380. При 42° давление водяного пара 61,5 мм. На сколько понизится давление пара при указанной температуре, если в 540 г воды растворить 36 г глюкозы $C_6H_{12}O_6$?

381. При 20° давление водяного пара 17,5 мм. Сколько граммов глицерина $C_3H_5(OH)_3$ надо растворить в 180 г воды, чтобы понизить давление пара на 1 мм?

382. Давление водяного пара при 70° равно 233,8 мм; при той же температуре давление пара раствора, содержащего в 270 г воды 12 г растворенного вещества, равняется 230,68 мм. Определите молекулярный вес растворенного вещества.

383. Определите молекулярный вес анилина, зная, что при 30° давление пара раствора, содержащего 3,09 г анилина в 370 г эфира $(C_2H_5)_2O$, равно 643,6 мм, а давление пара чистого эфира при той же температуре 647,9 мм.

6. Замерзание и кипение растворов

Все чистые жидкости характеризуются строго определенными температурами или точками замерзания и кипения. Присутствие в жидкости растворенного вещества понижает ее точку замерзания и повышает точку кипения. Поэтому растворы замерзают при более низких, а кипят при более высоких температурах, чем чистые растворители.

В отношении точек замерзания и кипения разбавленных растворов неэлектролитов справедливы следующие закономерности:

1. *Понижение точки замерзания и повышение точки кипения прямо пропорциональны количеству вещества, растворенному в данном весовом количестве растворителя.*

2. *Эквимолекулярные (т. е. содержащие одно и то же число молей) количества растворенных веществ, будучи растворены в одном и том же весовом количестве данного растворителя, одинаково понижают точку его замерзания и одинаково повышают точку кипения (законы Рауля).*

Понижение точки замерзания, вызываемое (по расчету) растворением 1 моля вещества в 1000 г растворителя, есть величина постоянная для данного растворителя. Она называется *криоскопической константой* растворителя. Точно так же и повышение точки кипения, вызываемое растворением 1 моля вещества в 1000 г растворителя, является постоянной величиной и называется *эбулиоскопической константой* растворителя.

Для разных растворителей криоскопические и эбулиоскопические константы различны.

Математически зависимость между величиной понижения точки замерзания растворителя и количеством растворенного вещества может быть выражена формулой

$$\Delta t_{\text{зам.}} = E_{\text{зам.}} \cdot C$$

где $\Delta t_{\text{зам.}}$ — понижение точки замерзания растворителя; $E_{\text{зам.}}$ — криоскопическая константа растворителя; C — число молей растворенного вещества, приходящееся на 1000 г растворителя. Так как число молей равно весу вещества в граммах (m), деленному на молекулярный вес (M), то, заменив C через m/M , получим

$$\Delta t_{\text{зам.}} = E_{\text{зам.}} \cdot \frac{m}{M}$$

Аналогичной формулой выражается и зависимость повышения точки кипения от количества растворенного вещества:

$$\Delta t_{\text{кип.}} = E_{\text{кип.}} \cdot \frac{m}{M}$$

где $E_{\text{кип.}}$ — эбулиоскопическая константа растворителя.

К растворам электролитов эти формулы без введения соответствующих поправок не применимы.

Указанные формулы дают возможность вычислять температуры замерзания и кипения растворов неэлектролитов по их концентрациям, а также находить молекулярные веса растворенных веществ по температурам замерзания или кипения растворов. Для концентрированных растворов, как и в случае осмотического давления, расчеты являются приближенными.

Пример 1. Рассчитать, при какой приблизительно температуре должен замерзнуть раствор, содержащий в 250 г воды 54 г глюкозы $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$, если криоскопическая константа воды равна $1,86^\circ$.

Решение. При пересчете на 1000 г воды содержание глюкозы в растворе будет равно 216 г. Рассчитаем, сколько молей составляют 216 г глюкозы.

Так как молекулярный вес глюкозы 180, то искомое число молей

$$C = 216 : 180 = 1,2 \text{ моля}$$

Теперь найдем понижение точки замерзания:

$$\Delta t_{\text{зам.}} = E_{\text{зам.}} \cdot C = 1,86 \cdot 1,2 = 2,23^\circ$$

Следовательно, раствор будет замерзать при $-2,23^\circ$.

Пример 2. При растворении 0,94 г фенола в 50 г спирта точка кипения последнего повысилась на $0,232^\circ$. Определить молекулярный вес фенола, зная, что эбулиоскопическая константа спирта равна $1,16^\circ$.

Решение. Как и в предыдущем примере, находим сперва, сколько граммов фенола приходится в растворе на 1000 г спирта:

$$0,94 : 50 = x : 1000$$

$$x = 18,8 \text{ г}$$

Если бы в 1000 г спирта была растворена 1 грамм-молекула фенола, то точка кипения спирта повысилась бы на $1,16^\circ$. Так как повышение точки кипения (при одном и том же количестве растворителя) пропорционально количеству растворенного вещества, то, обозначив искомый

молекулярный вес фенола через M , можем составить пропорцию

$$0,232 : 1,16 = 18,8 : M$$

откуда

$$M = 94 \text{ г}$$

т. е. молекулярный вес фенола 94.

Пример 3. Раствор, содержащий 8 г нафталина $C_{10}H_8$ в 100 г диэтилового эфира, кипит при $36,33^\circ$, тогда как чистый эфир кипит при 35° . Определить эбулиоскопическую константу эфира.

Решение. Из условия задачи находим:

$$\Delta t_{\text{кип.}} = 36,33^\circ - 35^\circ = 1,33^\circ$$

$$M = 128 \quad C = 80 : 128 = 0,625 \text{ моля}$$

Подставляя найденные значения в формулу

$$\Delta t_{\text{кип.}} = E_{\text{кип.}} \cdot C$$

получаем

$$1,33 = E_{\text{кип.}} \cdot 0,625$$

откуда

$$E_{\text{кип.}} = \frac{1,33}{0,625} = 2,12^\circ$$

Криоскопические и эбулиоскопические константы некоторых растворителей

Растворитель	$E_{\text{зам.}}$	$E_{\text{кип.}}$
Вода	$1,86^\circ$	$0,52^\circ$
Бензол	$5,2^\circ$	$2,57^\circ$
Этиловый спирт	—	$1,16^\circ$
Диэтиловый эфир	—	$2,12^\circ$

ЗАДАЧИ

384. В каком случае растворы различных неэлектролитов, содержащие в равных весовых количествах одно и то же число граммов растворенного вещества, будут замерзать при одинаковой температуре?

385. Имеется 10%-ный раствор метилового спирта CH_3OH и 10%-ный раствор этилового спирта C_2H_5OH . Какой из этих растворов будет замерзать при более низкой температуре?

386. На сколько градусов повысится температура кипения, если в 100 г воды растворить 9 г глюкозы $C_6H_{12}O_6$?

387. При какой приблизительно температуре будет кипеть 50%-ный раствор сахара $C_{12}H_{22}O_{11}$?

388. При какой приблизительно температуре будет замерзать 40%-ный раствор спирта C_2H_5OH ?

389. На сколько градусов понизится температура замерзания бензола, если в 100 г его растворить 4 г нафталина $C_{10}H_8$?

390. Сколько граммов сахара $C_{12}H_{22}O_{11}$ надо растворить в 100 г воды: а) чтобы понизить ее точку замерзания на 1° б) чтобы повысить точку кипения на 1° ?

391. В каком весовом отношении надо смешать воду и этиловый спирт C_2H_5OH , чтобы получить смесь, замерзающую при -20° ?

392. В радиатор автомобиля налили 9 л воды и прибавили 2 л метилового спирта CH_3OH (уд. вес 0,8). При какой наиминишей температуре можно после этого оставлять автомобиль на открытом воздухе, не боясь, что вода в радиаторе замерзнет?

393. При растворении 5 г вещества в 200 г воды получается не проводящий тока раствор, замерзающий при $-1,55^\circ$. Определите молекулярный вес растворенного вещества.

394. Раствор, содержащий 6 г мочевины в 50 г воды, замерзает при $-3,72^\circ$. Определите молекулярный вес мочевины.

395. При растворении 15 г хлороформа в 400 г диэтилового эфира температура кипения повысилась на $0,665^\circ$. Определите молекулярный вес хлороформа.

396. При растворении 13 г камфоры в 400 г диэтилового эфира температура кипения повысилась на $0,453^\circ$. Определите молекулярный вес камфоры.

397. При растворении 8,9 г антрацена $C_{14}H_{10}$ в 200 г этилового спирта температура кипения повысилась на $0,29^\circ$. Рассчитайте эбулиоскопическую константу спирта.

398. Раствор, содержащий 2,7 г фенола C_6H_5OH в 75 г бензола, замерзает при $3,5^\circ$, тогда как чистый бензол замерзает при $5,5^\circ$. Рассчитайте криоскопическую константу бензола.

399. При растворении 6,18 г нафталина в 150 г бензола температура замерзания последнего понизилась на $1,67^\circ$. Определите молекулярный вес нафталина.

400. При растворении 3,24 г серы в 40 г бензола температура кипения последнего повысилась на $0,81^\circ$. Из скольких атомов состоят молекулы серы в растворе?

401. Установите формулу вещества, содержащего 50,69% С; 4,23% Н и 45,08% О, зная, что раствор, содержащий 2,13 г этого вещества в 60 г бензола, замерзает при $4,25^\circ$. Температура замерзания чистого бензола $5,5^\circ$.

ГЛАВА XII

ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОЙ ДИССОЦИИАЦИИ

1. Степень электролитической диссоциации

Электролиты — кислоты, основания и соли при растворении в воде в большей или меньшей степени распадаются на положительно и отрицательно заряженные частицы — ионы. Этот процесс называется электролитической диссоциацией и является обратимым. Поэтому в растворе устанавливается равновесие между ионами и недиссоциированными молекулами.

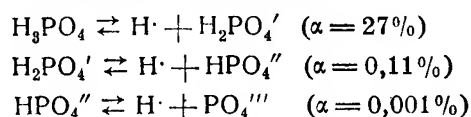
Молекулы кислот распадаются на положительно заряженные ионы водорода и отрицательно заряженные ионы кислотных остатков, молекулы оснований — на положительно заряженные ионы металлов и отрицательно заряженные ионы гидроксила и, наконец, соли распадаются на ионы металлов и кислотных остатков.

Отношение числа распавшихся на ионы молекул к общему числу взятых для растворения молекул называется степенью диссоциации электролита и обозначается греческой буквой α . Например, если из каждых 200 молекул растворенного вещества 80 распались на ионы, то степень диссоциации будет $80 : 200 = 0,4 = 40\%$.

При разбавлении раствора водой степень диссоциации увеличивается.

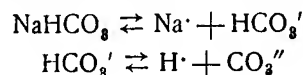
В зависимости от степени диссоциации электролиты принято делить на *сильные* и *слабые*. Сильными обычно считаются те электролиты, у которых степень диссоциации в 0,1 н. растворах не менее 30% и сравнительно мало изменяется с увеличением концентрации раствора. К ним принадлежит большинство солей, щелочи (кроме NH_4OH) и некоторые кислоты (HCl , HNO_3 , H_2SO_4 и др.). У слабых электролитов, наоборот, степень диссоциации даже в сильно разбавленных растворах очень мала и быстро падает с увеличением концентрации раствора.

Некоторые особенности представляет диссоциация многоосновных кислот: молекулы их диссоциируют ступенчато, отщепляя сперва один ион водорода, затем второй и т. д. Например, диссоциация фосфорной кислоты H_3PO_4 протекает по следующим уравнениям:



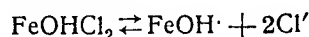
Как видно из приведенных цифр, относящихся к 0,1 н. раствору H_3PO_4 , наиболее сильно происходит диссоциация по первому уравнению (1-я ступень диссоциации), значительно слабее по второму и лишь в ничтожной степени по третьему.

Так же ступенчато диссоциируют *кислые соли*. Например:



Однако степень диссоциации по второй ступени очень мала, так что раствор кислой соли содержит лишь незначительное количество ионов водорода.

Основные соли диссоциируют на ионы основных и кислотных остатков. Например:



Вторичная диссоциация, т. е. диссоциация ионов основных остатков на ионы металла и гидроксила, почти не имеет места.

Степень диссоциации электролита в данном растворе можно определить различными способами, в частности, исходя из осмотического давления раствора, понижения давления пара, понижения точки замерзания или повышения точки кипения. Как известно, все эти величины зависят от числа частиц растворенного вещества, содержащихся в данном количестве растворителя. Так как в растворе электролита вследствие диссоциации общее число отдельных, самостоятельных частиц растворенного вещества (молекул и ионов) больше, чем в эквимольном растворе неэлектролита, то естественно, что и осмотическое давление раствора и все остальные связанные с ним величины тоже больше, чем у эквимольного раствора неэлектролита.

Число, показывающее, во сколько раз экспериментально найденные величины (осмотического давления или пониже-

ния давления пара и др.) больше вычисленных для того же раствора теоретически по его молярной концентрации, носит название изотонического коэффициента. Обозначив этот коэффициент через i , можем написать

$$i = \frac{P'}{P} = \frac{\Delta p'}{\Delta p} = \frac{\Delta t'_{\text{зам.}}}{\Delta t_{\text{зам.}}} = \frac{\Delta t'_{\text{кип.}}}{\Delta t_{\text{кип.}}}$$

где P' — осмотическое давление; $\Delta p'$ — понижение давления пара; $\Delta t'_{\text{зам.}}$ — понижение точки замерзания и $\Delta t'_{\text{кип.}}$ — повышение точки кипения, фактически наблюдаемые в растворе электролита; P , Δp , $\Delta t_{\text{зам.}}$ и $\Delta t_{\text{кип.}}$ — теоретически вычисленные значения тех же величин.

Между коэффициентом i , степенью диссоциации α и числом ионов n , на которое распадается молекула электролита, существует зависимость, выражающаяся формулой

$$\alpha = \frac{i-1}{n-1}$$

Из формулы видно, что для определения α нужно только найти значение коэффициента i для данного раствора.

Пользуясь приведенной формулой, можно вычислять степень диссоциации различных электролитов по осмотическому давлению, по понижению давления пара или по повышению точек кипения и понижению точек замерзания их растворов. Обратно, зная степень диссоциации растворенного электролита и концентрацию раствора, нетрудно рассчитать для него любую из указанных величин.

Согласно современным взглядам, сильные электролиты в водных растворах полностью диссоциированы на ионы. Однако при экспериментальном определении степени диссоциации (по электропроводности раствора или иными методами) она всегда получается меньше 100%. Это обстоятельство объясняется электростатическим взаимодействием между ионами, вследствие которого активность ионов уменьшается и все свойства растворов, зависящие от концентрации ионов, проявляются так, как если бы количество ионов в растворе было меньше, чем их в действительности образуется при полной диссоциации электролита.

При разбавлении раствора сильного электролита водой увеличивается не степень диссоциации, а активность ионов вследствие увеличения среднего расстояния между ними. Поэтому определяемая обычными методами степень диссоциации сильных электролитов является лишь «кажущейся», а не истинной. Тем не менее она имеет важное значение для

характеристики электролитов, обуславливая многие их свойства.

Пример 1. Раствор, содержащий 0,85 г хлористого цинка ZnCl_2 в 125 г воды, замерзает при $-0,23^\circ$. Определить кажущуюся степень диссоциации ZnCl_2 в этом растворе.

Решение. Выразим прежде всего концентрацию раствора в молях на 1000 г воды. Так как молекулярный вес ZnCl_2 равен 136, то

$$C = \frac{0,85 \cdot 1000}{125 \cdot 136} = 0,05 \text{ моля}$$

Находим теперь теоретическую величину понижения точки замерзания $\Delta t_{\text{зам.}}$ для данного раствора по формуле

$$\Delta t_{\text{зам.}} = K \cdot C$$

Так как для воды $K = 1,86$, то

$$\Delta t_{\text{зам.}} = 1,86 \cdot 0,05 = 0,093^\circ$$

Вычисляем изотонический коэффициент i , имея в виду, что по условию задачи $\Delta t'_{\text{зам.}} = 0,23^\circ$:

$$i = \frac{\Delta t'_{\text{зам.}}}{\Delta t_{\text{зам.}}} = \frac{0,23}{0,093} = 2,47$$

Находим кажущуюся степень диссоциации:

$$\alpha = \frac{i-1}{n-1} = \frac{2,47-1}{2} = 0,735 = 73,5\%$$

Пример 2. Кажущаяся степень диссоциации сернокислого цинка в 0,1 н. растворе равна 40%. Как велико должно быть осмотическое давление раствора при 0° ?

Решение. Вычисляем теоретическую величину осмотического давления по уравнению

$$P = CRT$$

Так как эквивалент ZnSO_4 равен половине молекулярного веса, то 0,1 н. раствор содержит 0,05 моля ZnSO_4 в литре. Следовательно, $C = 0,05$. Подставляя в уравнение вместо C , R и T их значения, получаем

$$P = 0,05 \cdot 0,082 \cdot 273 = 1,12 \text{ ат}$$

Чтобы рассчитать фактическую величину осмотического давления P' , определяем сперва коэффициент i для данного раствора, пользуясь формулой для вычисления степени дис-

социации. По условию задачи $\alpha = 0,4$. Молекула ZnSO_4 диссоциирует на 2 иона, следовательно, $n = 2$. Отсюда

$$0,4 = \frac{i-1}{2-1} \quad i = 1,4$$

Теперь находим P' . Так как $i = \frac{P'}{P}$, то

$$P' = P \cdot i = 1,12 \cdot 1,4 = 1,57 \text{ ат}$$

Пример 3. Каково будет при 100° давление пара раствора, содержащего 5 г NaOH в 180 г воды, если кажущаяся степень диссоциации едкого натра в этом растворе равна 80%?

Решение. Находим коэффициент i для данного раствора. По условию задачи $\alpha = 0,8$; $n = 2$. Следовательно

$$0,8 = \frac{i-1}{2-1} \quad i = 1,8$$

Вычисляем теоретическое понижение давления пара раствора Δp по уравнению

$$\Delta p = p \frac{n}{N}$$

При 100° давление водяного пара $p = 760 \text{ мм}$. Молекулярный вес NaOH равен 40, молекулярный вес воды 18; следовательно, $n = 5 : 40 = 0,125$; $N = 180 : 18 = 10$. Подставляя эти величины в уравнение, получаем

$$\Delta p = \frac{760 \cdot 0,125}{10} = 9,5 \text{ мм}$$

Находим фактическое понижение давления пара раствора $\Delta p'$:

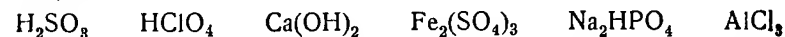
$$1,8 = \frac{\Delta p'}{9,5} \quad \Delta p' = 17,1 \text{ мм}$$

Искомое давление пара раствора

$$p' = p - 17,1 = 760 - 17,1 = 742,9 \text{ мм}$$

ЗАДАЧИ

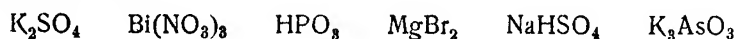
402. Напишите уравнения диссоциации на ионы следующих веществ:



403. На какие ионы распадается при диссоциации каждое из следующих веществ:



404. Выразите уравнениями диссоциацию на ионы следующих веществ:



405. При растворении 0,01 моля уксусной кислоты CH_3COOH в воде 20% всех растворенных молекул распалось на ионы. Сколько отдельных частиц растворенного вещества содержит раствор?

406. Одинаково ли осмотическое давление молярных растворов следующих веществ: глюкозы $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$, селитры KNO_3 , этилового спирта $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, уксусной кислоты CH_3COOH ? Ответ мотивируйте.

407. Молярный раствор синильной кислоты HCN замерзает почти при той же температуре, что и молярный раствор сахара. Какой вывод можно отсюда сделать относительно степени диссоциации синильной кислоты?

408. Имеются 0,1 М растворы AlCl_3 и CaCl_2 . Кажущаяся степень диссоциации обеих солей в этих растворах приблизительно одинакова. Какой раствор будет замерзать при более низкой температуре? Почему?

409. Имеются децимолярные растворы следующих веществ: уксусной кислоты CH_3COOH ; поваренной соли NaCl ; глюкозы $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$; хлористого кальция CaCl_2 . Расположите их в порядке убывающей величины осмотического давления.

410. Имеются растворы $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ и $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, содержащие одинаковое число молей в литре воды. Какой из них обладает большим осмотическим давлением, если кажущаяся степень диссоциации растворенных солей одинакова?

411. Раствор, содержащий 2,1 г KOH в 250 г воды, замерзает при $-0,519^\circ$. Найдите изотонический коэффициент для этого раствора.

412. Найдите изотонический коэффициент для раствора хлористого магния MgCl_2 , содержащего 0,1 моля MgCl_2 в 1000 г воды, зная, что этот раствор замерзает при $-0,461^\circ$.

413. При растворении граммолекулы азотнокислого калия KNO_3 в 1 л воды температура замерзания понизилась на $3,01^\circ$. Определите кажущуюся степень диссоциации KNO_3 в полученном растворе.

414. Осмотическое давление 0,1 н. раствора поташа K_2CO_3 равно 2,69 ат при 0° . Определите кажущуюся степень диссоциации K_2CO_3 в растворе.

415. Раствор, содержащий 8 г сернокислого алюминия $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ в 25 г воды, замерзает при $-4,46^\circ$. Определите кажущуюся степень диссоциации соли в этом растворе.

416. Раствор, содержащий 0,53 г карбоната натрия Na_2CO_3 в 200 г воды, замерзает при $-0,13^\circ$. Вычислите кажущуюся степень диссоциации Na_2CO_3 в данном растворе.

417. Определите кажущуюся степень диссоциации сульфата калия в растворе, содержащем 8,7 г K_2SO_4 на 100 г воды, если температура замерзания раствора $-1,83^\circ$.

418. При растворении 12 г едкого натра в 100 г воды температура кипения повышается на $2,65^\circ$. Определите кажущуюся степень диссоциации NaOH в растворе.

419. Имеются растворы, содержащие в равных весовых количествах воды: первый—0,5 моля сахара, второй—0,2 моля хлористого кальция CaCl_2 . Оба раствора замерзают при одинаковой температуре. Определите кажущуюся степень диссоциации CaCl_2 во взятом растворе.

420. Давление пара раствора, содержащего 0,05 моля сернокислого натрия Na_2SO_4 в 450 г воды, равно 756,2 мм при 100° . Определите кажущуюся степень диссоциации Na_2SO_4 в этом растворе.

421. Рассчитайте изотонический коэффициент для молярного раствора электролита, молекула которого диссоциирует на три иона, зная, что литр этого раствора содержит $6,38 \cdot 10^{23}$ частиц (молекул и ионов) растворенного вещества.

422. Уксусная кислота CH_3COOH диссоциирует на ионы H^+ и $\text{CH}_3\text{COO}'$. В 1 л 0,01 М раствора уксусной кислоты содержится $6,26 \cdot 10^{21}$ ее молекул и ионов. Определите степень диссоциации уксусной кислоты в указанном растворе.

423. Найдите степень диссоциации азотистой кислоты HNO_2 в нормальном растворе, зная, что 1 мл этого раствора содержит $6,15 \cdot 10^{20}$ частиц растворенного вещества.

424. Каково должно быть осмотическое давление 0,1 н. раствора хлористого калия, если кажущаяся степень диссоциации KCl в этом растворе равна 80%?

425. При какой приблизительно температуре должен замерзать раствор, содержащий 2 моля поваренной соли на 1000 г воды, если кажущаяся степень диссоциации NaCl в этом растворе равна 70%?

426. При 50° давление водяного пара 92,51 мм. Рассчитайте, каково должно быть давление пара раствора, содержащего 1 моль хлористого натрия в 1000 г воды, если кажущаяся степень диссоциации NaCl в этом растворе равна 70%.

427. При какой температуре начнет замерзать раствор, содержащий 100 г едкого натра в 1000 г воды, если принять кажущуюся степень диссоциации NaOH в этом растворе равной 80%?

428. Осмотическое давление 0,04M раствора электролита равно 2,15 ат при 0°. Кажущаяся степень диссоциации электролита в этом растворе 70%. На сколько ионов диссоциирует молекула электролита?

429. Сколько молей неэлектролита должен содержать литр раствора, чтобы его осмотическое давление было таким же, как у молярного раствора HNO_3 , кажущаяся степень диссоциации которой в этом растворе равна 80%?

430. Сколько частиц (молекул и ионов) растворенного вещества содержится в 1 мл 0,1M раствора фтористого водорода HF , если степень диссоциации его в этом растворе равна 15%?

2. Концентрация ионов и ионное равновесие

Концентрация ионов в растворе обычно выражается числом граммионов, содержащихся в 1 л раствора.

Грамм-ион весит столько граммов, сколько кислородных единиц весит данный ион. Например, грамм-ион водорода весит 1 г (точнее, 1,008 г), грамм-ион натрия — 23 г, грамм-ион OH' — 17 г, грамм-ион NO_3' — 62 г и т. д.

Концентрация ионов зависит как от общей концентрации растворенного электролита, так и от степени его диссоциации в данном растворе.

Пример 1. Вычислить концентрации ионов H' и ионов $\text{CH}_3\text{COO}'$ в 0,1M растворе уксусной кислоты, зная, что степень ее диссоциации в таком растворе равняется 1,3%.

Решение. По условию задачи общая концентрация уксусной кислоты 0,1 моль/л; из этого количества молей 0,013 диссоциировали на ионы. Так как каждая молекула CH_3COOH дает 1 ион H' и 1 ион $\text{CH}_3\text{COO}'$, то очевидно, что концентрации обоих ионов будут одинаковы:

$$[\text{H}'] = [\text{CH}_3\text{COO}'] = 0,1 \cdot 0,013 = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ г-ион/л}$$

Пример 2. Определить молярную концентрацию раствора FeCl_3 , в котором концентрация ионов хлора равна 0,6 г-ион/л.

Решение. При диссоциации хлорного железа каждая молекула FeCl_3 дает 3 иона хлора. Следовательно, при полной диссоциации растворенной соли число граммионов хлора в растворе будет в три раза больше числа растворенных граммолекул FeCl_3 , т. е. концентрация ионов хлора, выраженная в граммионах, будет в три раза больше концентрации FeCl_3 , выражаемой в молях.

Пример 3. Каковы концентрации ионов Ba^{++} и Cl' в 0,1 н. растворе хлористого бария $BaCl_2$, если степень его диссоциации в данном растворе составляет 72%?

Решение. Согласно условию задачи, раствор содержит в литре 0,1 г-экв $BaCl_2$, что составляет 0,05 моля $BaCl_2$. Из этого количества хлористого бария часть, равная 0,72, т. е. $0,05 \cdot 0,72$, или 0,036 моля, распалась на ионы. Так как каждая распавшаяся молекула хлористого бария $BaCl_2$ дает 1 ион Ba^{++} и 2 иона Cl' , то, очевидно, искомые концентрации ионов равны:

$$[Ba^{++}] = 0,036 \text{ г-ион/л}$$

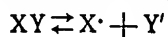
$$[Cl'] = 0,036 \cdot 2 = 0,072 \text{ г-ион/л}$$

Из приведенного примера видно, что для определения концентрации какого-либо из ионов электролита C' нужно умножить общую концентрацию электролита C на степень его диссоциации α и на число n , показывающее, сколько этих ионов образуется из 1 молекулы электролита:

$$C' = C \alpha n$$

Следует, однако, заметить, что вычисленные таким образом величины выражают действительные концентрации ионов только в случае слабых электролитов. Сильные электролиты, как уже указывалось, полностью диссоциированы в растворах, а определяемая экспериментальным путем степень их диссоциации является только «кажущейся». Поэтому и вычисленные по ней концентрации ионов не выражают истинных величин концентраций. Они называются «эффективными» концентрациями.

Для слабых электролитов диссоциация их молекул на ионы является процессом обратимым. Поэтому в растворе слабого электролита существует равновесие между ионами и недиссоциированными молекулами, подчиняющееся закону действия масс. Изобразив диссоциацию слабого электролита, распадающегося на два иона, уравнением



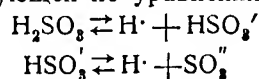
можем написать

$$\frac{[X] \cdot [Y']}{[XY]} = K$$

Константа равновесия K называется в данном случае *константой диссоциации* электролита.

В случае слабых многоосновных кислот, диссоциирующих ступенчато, каждая ступень диссоциации характери-

зается своей константой. Так, например, для сернистой кислоты, диссоциирующей по уравнениям



имеем

$$K_1 = \frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{HSO}_3']}{[\text{H}_2\text{SO}_3]} = 1,7 \cdot 10^{-2}$$

$$K_2 = \frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{SO}_3'']}{[\text{HSO}_3']} = 1,0 \cdot 10^{-7}$$

Обозначив общую концентрацию растворенного электролита буквой C , степень его диссоциации буквой α и выразив через них концентрацию недиссоциированных молекул и концентрации ионов, получим

$$[\text{X}^+] = [\text{Y}'] = C\alpha \quad [\text{XY}] = C(1-\alpha)$$

$$K = \frac{C\alpha \cdot C\alpha}{C(1-\alpha)} = \frac{\alpha^2}{1-\alpha} \cdot C$$

Эта формула дает возможность вычислять константы диссоциации слабых электролитов, если известна степень их диссоциации при какой-либо концентрации раствора. Обратно, зная константу диссоциации электролита, нетрудно рассчитать степень диссоциации при любом разбавлении раствора.

Если степень диссоциации электролита очень мала, то при расчетах величину $1-\alpha$ можно без большой ошибки принять равной единице. Тогда предыдущая формула заменяется более простой

$$K = \alpha^2 C$$

откуда

$$\alpha = \sqrt{\frac{K}{C}}$$

Пример 4. Вычислить константу диссоциации уксусной кислоты, зная, что в 0,1M растворе она диссоциирована на 1,32%.

Решение. Так как степень диссоциации уксусной кислоты мала, то, применяя упрощенную формулу, находим

$$K = \alpha^2 C = (0,0132)^2 \cdot 0,1 = 0,000174, \text{ или } 1,74 \cdot 10^{-5}$$

При более точном расчете получим

$$K = \frac{\alpha^2 C}{1-\alpha} = \frac{(0,0132)^2 \cdot 0,1}{1-0,0132} = 1,76 \cdot 10^{-5}$$

Пример 5. Найти степень диссоциации синильной кислоты HCN в 0,05M растворе, если константа ее диссоциации $K = 7 \cdot 10^{-10}$.

Решение. Так как синильная кислота очень слабый электролит, то, применяя формулу $K = \alpha^2 C$, получаем

$$7 \cdot 10^{-10} = \alpha^2 \cdot 0,05$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{7 \cdot 10^{-10}}{0,05}} = \sqrt{1,4 \cdot 10^{-8}} = 1,18 \cdot 10^{-4}, \text{ или } 0,018\%$$

Пример 6. Какова будет концентрация ионов водорода в 0,1M растворе азотистой кислоты HNO₂, константа диссоциации которой $5 \cdot 10^{-4}$?

Решение. Константа диссоциации азотистой кислоты выражается формулой

$$K = \frac{[H \cdot] \cdot [NO_2']}{[HNO_2]}$$

Обозначим искомую концентрацию ионов водорода через x , тогда

$$[H \cdot] = [NO_2'] = x \quad [HNO_2] = 0,1 - x$$

$$5 \cdot 10^{-4} = \frac{x^2}{0,1 - x}$$

Так как величина x очень мала, то в знаменателе дроби ею можно пренебречь:

$$5 \cdot 10^{-4} = \frac{x^2}{0,1}$$

$$x = \sqrt{0,5 \cdot 10^{-4}} = \sqrt{50 \cdot 10^{-6}} \approx 7 \cdot 10^{-3} = 0,007 \text{ г-ион/л}$$

Задачу можно решить и другим способом: сперва найти степень диссоциации HNO₂ в 0,1M растворе, а затем по ней рассчитать концентрацию ионов водорода:

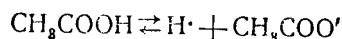
$$K = \alpha^2 C = 5 \cdot 10^{-4}$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{5 \cdot 10^{-4}}{0,1}} = 0,07$$

$$[H \cdot] = 0,1 \cdot 0,07 = 0,007 \text{ г-ион/л}$$

При введении в раствор слабого электролита одноименных ионов (т. е. ионов, одинаковых с одним из ионов электролита) существующее в растворе равновесие между ионами и недиссоциированными молекулами нарушается и согласно закону действия масс смещается в сторону обра-

зования недиссоциированных молекул. Так, например, если к раствору уксусной кислоты прибавить ее соли и тем самым увеличить концентрацию ионов $\text{CH}_3\text{COO}'$, то равновесие



сместится влево, т. е. концентрация недиссоциированных молекул CH_3COOH увеличится, а концентрация ионов H^+ уменьшится. Таким образом, введение в раствор слабого электролита одноименных ионов уменьшает его степень диссоциации и концентрацию другого иона.

Пример 7. Концентрация ионов водорода в 0,2М растворе одноосновной муравьиной кислоты HCOOH равна $6,4 \cdot 10^{-3}$. Константа диссоциации муравьиной кислоты $K = 2 \cdot 10^{-4}$. Во сколько раз уменьшится концентрация ионов водорода, если прибавить к раствору столько натриевой соли муравьиной кислоты HCOONa , чтобы концентрация соли стала равной 1 моль/л? Кажущаяся степень диссоциации HCOONa в этом растворе 0,75.

Решение. Обозначим искомую концентрацию ионов H^+ через x . Тогда концентрация недиссоциированных молекул выразится через $0,2 - x$. Концентрация же ионов HCOO' будет слагаться из двух величин: из концентрации, создаваемой диссоциацией молекул муравьиной кислоты, и концентрации, обусловленной диссоциацией прибавленной соли. Первая из этих величин, очевидно, будет равна x , а вторая 0,75. Таким образом, концентрация ионов HCOO' будет $0,75 + x$. Подставив величины концентраций в формулу константы равновесия, получим

$$\frac{x(0,75 + x)}{0,2 - x} = 2 \cdot 10^{-4}$$

Степень диссоциации муравьиной кислоты вообще невелика, а в присутствии ее соли она будет еще сильно понижена. Поэтому величина x по сравнению с 0,75 и 0,2 очень мала, и в выражении концентраций ионов HCOO' и молекул HCOOH ею можно без большой погрешности пренебречь. Сделав это, получим

$$\frac{0,75x}{0,2} = 2 \cdot 10^{-4}$$

откуда

$$x = \frac{0,4 \cdot 10^{-4}}{0,75} = 5,3 \cdot 10^{-5} \text{ з-ион/л}$$

Сравнивая концентрации ионов водорода до и после прибавления к раствору муравьинокислого натрия, находим, что прибавление HCOONa вызвало уменьшение концентрации ионов водорода в $6,4 \cdot 10^{-3} : 5,3 \cdot 10^{-5}$, т. е. в 121 раз.

ЗАДАЧИ

431. Определите концентрацию ионов K^+ и ионов SO_4^{2-} в 0,1 н. растворе K_2SO_4 , считая диссоциацию этой соли полной.

432. Определите эффективную концентрацию гидроксильных ионов в 0,2 н. растворе едкого натра, если кажущаяся степень диссоциации NaOH равна 90%.

433. Определите эффективные концентрации ионов Cl^- и Fe^{3+} в 0,1 М растворе FeCl_3 , зная, что кажущаяся степень диссоциации этой соли в растворе равна 65%.

434. Выразите в граммах на литр и в граммах на литр эффективные концентрации ионов Ca^{2+} и Cl^- в 0,25 н. растворе CaCl_2 , если кажущаяся степень диссоциации CaCl_2 равна 72%.

435. Определите молярную концентрацию раствора HNO_3 , в котором эффективная концентрация ионов H^+ равна 0,294 г-ион/л, а кажущаяся степень диссоциации 84%.

436. Вычислите концентрацию раствора азотнокислой меди $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, зная, что кажущаяся степень диссоциации соли в этом растворе 64%, а эффективная концентрация ионов NO_3^- равна 0,16 г-ион/л.

437. Растворимость бертолетовой соли KClO_3 равна 0,52 моль/л при 18°. Какова эффективная концентрация ионов K^+ и ClO_3^- в насыщенном растворе, если соль диссоциирована в нем на 75%?

438. Определите нормальность раствора сернокислой меди CuSO_4 , в котором эффективная концентрация ионов меди равна 0,02 г-ион/л, а кажущаяся степень диссоциации соли 40%.

439. Найдите эффективную концентрацию ионов Mg^{2+} и Cl^- в 20%-ном растворе хлористого магния MgCl_2 (уд. вес 1,16), зная, что соль диссоциирована в этом растворе на 54%.

440. Для одного опыта требовался раствор, содержащий в 1 л 0,5 моля NaCl , 0,16 моля KCl и 0,24 моля K_2SO_4 . В распоряжении лаборанта были только NaCl , KCl и Na_2SO_4 , из которых он и приготовил раствор указанного выше состава. Как он это сделал?

441. Докажите, что раствор, содержащий в литре 0,6 моля CuSO_4 , 0,25 моля $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ и 0,35 моля K_2SO_4 , тождествен с раствором, содержащим в литре 0,85 моля CuSO_4 , 0,5 моля KNO_3 и 0,1 моля K_2SO_4 .

442. Константа диссоциации одноосновной масляной кислоты

C_6H_5COOH равна $1,5 \cdot 10^{-5}$. Какова должна быть степень ее диссоциации в $0,005M$ растворе?

443. Определите степень диссоциации хлорноватистой кислоты $HClO$ в $0,2$ н. растворе, если ее константа диссоциации $4 \cdot 10^{-8}$.

444. Степень диссоциации муравьиной кислоты в $0,2$ н. растворе $3,2\%$. Определите константу диссоциации муравьиной кислоты.

445. Степень диссоциации угольной кислоты по 1-й ступени ($H_2CO_3 \rightleftharpoons H^+ + HCO_3'$) в $0,1$ н. растворе $0,173\%$. Рассчитайте константу диссоциации для этой ступени.

446. Кажущаяся степень диссоциации соляной кислоты в нормальном растворе 78% , в децинормальном 92% . Докажите, что для соляной кислоты отношение $\frac{[H^+] \cdot [Cl']}{[HCl]}$ не является постоянной величиной, не зависящей от концентрации раствора.

447. При какой концентрации раствора степень диссоциации азотистой кислоты HNO_2 будет равна 20% , если ее константа диссоциации равна $5 \cdot 10^{-4}$?

448. В $0,1$ н. растворе степень диссоциации уксусной кислоты $1,32\%$, а соляной 92% . При какой концентрации раствора степень диссоциации уксусной кислоты тоже достигнет 92% ?

449. Сколько воды надо прибавить к 300 мл $0,2M$ раствора уксусной кислоты ($K = 1,8 \cdot 10^{-5}$), чтобы степень диссоциации кислоты удвоилась?

450. Какова концентрация ионов водорода в растворе муравьиной кислоты ($K = 2 \cdot 10^{-4}$), если она диссоциирована в нем на 5% ?

451. Вычислите концентрацию ионов водорода в $0,02M$ растворе сернистой кислоты, учитывая только 1-ю ступень диссоциации, для которой константа диссоциации равна $1,7 \cdot 10^{-2}$.

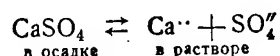
452. Во сколько раз уменьшится концентрация ионов водорода, если к 1 л $0,2M$ раствора уксусной кислоты прибавить $0,1$ моля уксуснокислого натрия CH_3COONa , у которого степень диссоциации при таком разбавлении равна 80% ? Константу диссоциации уксусной кислоты примите равной $1,8 \cdot 10^{-5}$.

453. Рассчитайте концентрацию ионов CH_3COO' в растворе, литр которого содержит 1 моль уксусной кислоты и $0,1$ моля HCl , считая диссоциацию последнего полной. Константу диссоциации уксусной кислоты примите равной $1,8 \cdot 10^{-5}$.

3. Произведение растворимости

Во всяком насыщенном растворе, который соприкасается с твердой фазой (осадком) растворенного вещества, имеет

место равновесие между веществом в растворе и тем же веществом в осадке. Если растворенное вещество сильный, мало растворимый электролит, например мало растворимая соль, то насыщенный раствор содержит только отдельные ионы этой соли, которые и находятся в равновесии с осадком, например



Произведение концентраций ионов мало растворимого электролита, содержащихся в его насыщенном растворе, является величиной постоянной при данной температуре. Эта величина называется произведением растворимости электролита и обычно обозначается буквами ПР (или буквой L). Например, произведение растворимости CaSO₄ выразится так:

$$\text{ПР}_{\text{CaSO}_4} = [\text{Ca}^{++}] \cdot [\text{SO}_4^{--}]$$

В тех случаях, когда при диссоциации молекулы электролита получается два или более одинаковых ионов, концентрации этих ионов в выражении произведения растворимости должны быть возведены в соответствующие степени:

$$\text{ПР}_{\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2} = [\text{Ca}^{++}]^3 \cdot [\text{PO}_4^{--}]^2$$

Произведение растворимости характеризует растворимость твердого электролита при данной температуре. Из двух однокатионных солей (например, CaSO₄ и BaSO₄) большей растворимостью обладает та соль, у которой произведение растворимости больше.

Концентрация каждого из ионов в насыщенном растворе электролита может быть изменена, но при этом сейчас же изменяется и концентрация другого иона так, что произведение концентраций сохраняет прежнюю величину. Поэтому, если в насыщенный раствор электролита ввести некоторое количество одного из ионов, входящих в состав электролита, то концентрация другого иона должна будет измениться и часть растворенного электролита выпадет в осадок.

Таким образом, растворимость электролита понижается от введения в раствор одноименных ионов.

Пользуясь величиной произведения растворимости электролита, можно производить ряд важных для химика расчетов, связанных с растворимостью данного электролита.

Пример 1. Произведение растворимости иодистого свинца PbJ_2 при комнатной температуре $1,4 \cdot 10^{-8}$. Рассчитать растворимость этой соли при той же температуре и концентрацию каждого из ее ионов в насыщенном растворе.

Решение. PbJ_2 диссоциирует в растворе на ионы Pb^{2+} и J^- . Так как из каждой молекулы иодистого свинца получается 1 ион Pb^{2+} и 2 иона J^- , то концентрация ионов Pb^{2+} , выраженная в граммионах на литр, равна общей концентрации растворенной соли, а концентрация ионов J^- в два раза больше.

Обозначим молярную концентрацию насыщенного раствора иодистого свинца через x . Тогда

$$[PbJ_2] = x \quad [Pb^{2+}] = x \quad [J^-] = 2x$$

$$ПР_{PbJ_2} = [Pb^{2+}] \cdot [J^-]^2 = 1,4 \cdot 10^{-8}$$

Подставляя сюда концентрации ионов, выраженные через x , получаем

$$4x^3 = 1,4 \cdot 10^{-8} \quad x^3 = 0,35 \cdot 10^{-8} = 3,5 \cdot 10^{-9}$$

$$x = \sqrt[3]{3,5 \cdot 10^{-9}} = \sqrt[3]{3,5} \cdot 10^{-3} = 1,5 \cdot 10^{-3}$$

Растворимость вещества при данной температуре измеряется концентрацией его насыщенного раствора. Следовательно, растворимость PbJ_2 равняется $1,5 \cdot 10^{-3}$ моль/л; $[Pb^{2+}] = 1,5 \cdot 10^{-3}$ г-ион/л; $[J^-] = 3 \cdot 10^{-3}$ г-ион/л.

Пример 2. Растворимость гидрата окиси магния $Mg(OH)_2$ при 18° равна $2 \cdot 10^{-4}$ моль/л. Найти произведение растворимости $Mg(OH)_2$.

Решение. Общая концентрация насыщенного раствора гидрата окиси магния равна $2 \cdot 10^{-4}$ моль/л. При диссоциации из 1 молекулы $Mg(OH)_2$ получаются 1 ион Mg^{2+} и 2 иона OH^- .

Следовательно

$$[Mg^{2+}] = 2 \cdot 10^{-4} \text{ г-ион/л} \quad [OH^-] = 4 \cdot 10^{-4} \text{ г-ион/л}$$

$$ПР_{Mg(OH)_2} = [Mg^{2+}] \cdot [OH^-]^2$$

Подставляя сюда величины концентраций ионов, получаем

$$ПР_{Mg(OH)_2} = 2 \cdot 10^{-4} \cdot (4 \cdot 10^{-4})^2 = 3,2 \cdot 10^{-11}$$

Пример 3. Во сколько раз растворимость щавелевокислого кальция CaC_2O_4 в 0,05 М растворе щавелевокислого аммония $(NH_4)_2C_2O_4$ меньше, чем в чистой воде, если кажущаяся степень диссоциации $(NH_4)_2C_2O_4$ при этих условиях 70%, а произведение растворимости CaC_2O_4 равно $3,8 \cdot 10^{-9}$?

Решение. Вычислим сперва растворимость щавелевокислого кальция в чистой воде. Обозначим молярную концентрацию насыщенного раствора CaC_2O_4 через x . Так как молекула щавелевокислого кальция диссоциирует на два иона, то концентрация каждого из ионов тоже будет x . Отсюда, принимая во внимание величину произведения растворимости CaC_2O_4 , имеем

$$x^2 = 3,8 \cdot 10^{-9} \quad x = \sqrt{3,8 \cdot 10^{-9}} = 6,2 \cdot 10^{-5}$$

Следовательно, растворимость щавелевокислого кальция в чистой воде равняется $6,2 \cdot 10^{-5}$ моль/л.

Найдем теперь растворимость той же соли в 0,05М растворе щавелевокислого аммония. Обозначим ее через y . Тогда концентрация ионов Ca^{++} в растворе тоже будет y . Что же касается ионов $\text{C}_2\text{O}_4^{--}$, то их концентрация складывается из величины y и концентрации ионов $\text{C}_2\text{O}_4^{--}$ в 0,05М растворе $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$, равной (в соответствии с условием задачи) $0,05 \cdot 0,7 = 0,035$ г-ион/л. Однако ввиду очень малой величины y по сравнению с 0,035 ею можно при расчете пренебречь и считать, что $[\text{C}_2\text{O}_4^{--}] = 0,035$ г-ион/л.

Так как произведение концентраций ионов $\text{C}_2\text{O}_4^{--}$ и ионов Ca^{++} должно равняться произведению растворимости CaC_2O_4 , то

$$0,035 \cdot y = 3,8 \cdot 10^{-9}; \quad y = 1,09 \cdot 10^{-7}$$

Таким образом, в литре раствора, насыщенного по отношению к CaC_2O_4 , будет содержаться $1,09 \cdot 10^{-7}$ моля CaC_2O_4 . Сравнивая эту величину с найденной ранее ($6,2 \cdot 10^{-5}$), мы видим, что растворимость CaC_2O_4 уменьшилась в $\frac{6,2 \cdot 10^{-5}}{1,09 \cdot 10^{-7}}$ раз, т. е. приблизительно в 570 раз.

Пример 4. Получится ли осадок сернокислого кальция CaSO_4 при смешивании равных объемов 0,02 н. растворов CaCl_2 и Na_2SO_4 ? Произведение растворимости CaSO_4 равно $2,3 \cdot 10^{-4}$.

Решение. Так как объем получаемой смеси в два раза больше, чем объем каждого из взятых растворов, то после смешивания концентрации всех ионов станут в два раза меньше, чем они были в исходных растворах. Считая, что соли полностью диссоциированы, имеем

$$[\text{CaCl}_2] = [\text{Ca}^{++}] = 0,01 \cdot 0,5 = 5 \cdot 10^{-3}$$

$$[\text{Na}_2\text{SO}_4] = [\text{SO}_4^{--}] = 0,01 \cdot 0,5 = 5 \cdot 10^{-3}$$

отсюда

$$[\text{Ca}^{++}] \cdot [\text{SO}_4^{--}] = (5 \cdot 10^{-3})^2 = 2,5 \cdot 10^{-5}$$

Этот расчет показывает, что произведение концентраций ионов Ca^{++} и SO_4^{--} в полученном после смешивания растворе меньше величины произведения растворимости CaSO_4 . Следовательно, по отношению к CaSO_4 раствор будет ненасыщенным, и осадка не получится.

ЗАДАЧИ

454. Растворимость иодистого свинца PbI_2 при 18° равняется $1,5 \cdot 10^{-3}$ моль/л. Рассчитайте концентрации ионов свинца и иода в насыщенном растворе PbI_2 , принимая диссоциацию его полной.

455. Растворимость углекислого кальция CaCO_3 при 18° равна $1,3 \cdot 10^{-4}$ моль/л. Вычислите произведение растворимости CaCO_3 .

456. Растворимость бромистого свинца PbBr_2 при 18° равна $2,7 \cdot 10^{-2}$ моль/л. Вычислите произведение растворимости этой соли.

457. В 500 мл воды при 18° растворяется 0,0165 г хромовокислого серебра Ag_2CrO_4 . Чему равно произведение растворимости Ag_2CrO_4 ?

458. Концентрация ионов F' в насыщенном при 18° растворе фтористого кальция CaF_2 равна $4 \cdot 10^{-4}$ г-ион/л. Найдите произведение растворимости CaF_2 .

459. Для растворения 1 г иодистого свинца PbI_2 при 18° требуется 1470 мл воды. Найдите произведение растворимости этой соли.

460. Произведение растворимости углекислого кальция CaCO_3 равно $1,7 \cdot 10^{-8}$. Сколько граммов CaCO_3 содержится в литре насыщенного раствора?

461. Произведение растворимости бромистого серебра AgBr равно $3,6 \cdot 10^{-13}$. Сколько граммов серебра в виде ионов содержится в литре насыщенного раствора этой соли?

462. Произведение растворимости сернокислого серебра Ag_2SO_4 равно $7 \cdot 10^{-5}$. Найдите растворимость соли и выразите ее в молях на литр и в граммах на литр.

463. Сколько воды потребуется для растворения при комнатной температуре 1 г углекислого бария BaCO_3 ? Произведение растворимости BaCO_3 равно $1,9 \cdot 10^{-9}$.

464. Сколько граммов сернокислого свинца PbSO_4 можно растворить при обыкновенной температуре в 1 л воды, если произведение растворимости PbSO_4 равно $2,3 \cdot 10^{-8}$?

465. Произведение растворимости сернокислого стронция SrSO_4 равно $3,6 \cdot 10^{-7}$. Образуется ли осадок SrSO_4 , если смешать равные объемы 0,002 н. растворов SrCl_2 и K_2SO_4 ?

466. Во сколько раз уменьшится концентрация ионов серебра в насыщенном растворе AgCl , если прибавить к нему столько соляной кислоты, чтобы концентрация HCl в растворе стала равной 0,03 моль/л? Произведение растворимости хлористого серебра равно $1,2 \cdot 10^{-10}$.

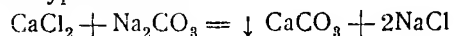
467. Произведение растворимости сернокислого серебра Ag_2SO_4 равно $7 \cdot 10^{-5}$. Образуется ли осадок, если к 0,02 н. раствору AgNO_3 прибавить равный объем нормального раствора серной кислоты?

468. Произведение растворимости хлористого свинца PbCl_2 равно $2,3 \cdot 10^{-4}$. Образуется ли осадок PbCl_2 , если к 0,1 н. раствору $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ прибавить равный объем 0,4 н. раствора NaCl ?

4. Ионные реакции и уравнения

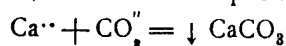
Реакции в растворах электролитов обычно заключаются во взаимодействии между ионами растворенных веществ. Хотя большинство этих реакций принадлежит к типу так называемых реакций обмена, но с точки зрения ионной теории сущность их сводится к соединению ионов в молекулы новых веществ. Однако соединение ионов может произойти только в том случае, если образующееся новое вещество трудно растворимо или является слабым электролитом. Поэтому обязательным условием течения реакций обмена между электролитами в растворах является образование трудно растворимых или слабо диссоциирующих веществ.

Пример 1. Реакция между хлористым кальцием и углекислым натрием в водном растворе выражается следующим молекулярным уравнением



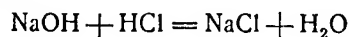
Раствор CaCl_2 , как раствор сильного электролита, содержит только ионы Ca^{++} и Cl^- . Точно так же и Na_2CO_3 полностью диссоциирован в растворе на ионы Na^+ и CO_3^{--} . При смешивании этих двух растворов ионы Ca^{++} и CO_3^{--} связываются друг с другом и образуют практически нерастворимый в воде CaCO_3 , который и выпадает в осадок. Указанные в молекулярном уравнении реакции молекулы NaCl в действительности не образуются, так как NaCl сильный электролит и может существовать в растворе только в виде ионов. Следовательно, химическое взаимодействие проис-

ходит только между ионами Ca^{++} и CO_3^{--} ; ионы же Na^+ и Cl^- как были свободными в растворах до их смешивания, так и остались свободными после смешивания, т. е. никакого участия в реакции не принимали. На основании сказанного происходящую реакцию можно изобразить уравнением

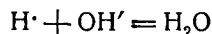


Это уравнение называется *ионным уравнением* реакции. Оно проще молекулярного уравнения и в то же время гораздо точнее передает сущность происходящей реакции.

Пример 2. Реакция между едким натром и соляной кислотой (реакция нейтрализации) выражается в молекулярной форме уравнением



Как и в предыдущем случае, растворы исходных веществ NaOH и HCl содержат только ионы этих веществ. Так как NaCl тоже сильный электролит, то при смешивании растворов связываться друг с другом будут только ионы H^+ и OH^- , образуя молекулы очень слабого электролита — воды. Образование этих молекул и обуславливает течение данной реакции. Таким образом, сущность ее может быть выражена ионным уравнением



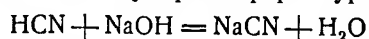
Таким же уравнением выразится, очевидно, и любая реакция нейтрализации сильной кислоты сильным основанием.

Если взятые для реакции вещества представляют собой сильные, легко растворимые электролиты, то ионное уравнение реакции всегда имеет такой вид, как в приведенных выше примерах: в левой его части указываются вступающие во взаимодействие ионы, в правой — образующиеся из них слабо диссоциирующие или мало растворимые соединения. Исходными веществами для таких реакций являются ионы, продуктами реакции — молекулы слабого электролита или кристаллы трудно растворимого вещества.

Несколько сложнее протекают реакции в тех случаях, когда одно из взятых для реакции веществ слабый или мало растворимый электролит. Хотя и здесь непосредственно взаимодействуют друг с другом только ионы и сущность реакции заключается в их соединении, однако в отношении слабого или мало растворимого электролита исходным ве-

ществом следует считать его молекулы, или кристаллы, а не ионы, так как в момент начала реакции в растворе имеется лишь ничтожное количество ионов, остальные же образуются в процессе реакции. В связи с этим и ионные уравнения таких реакций имеют другой вид.

Пример 3. При смешивании раствора слабой синильной кислоты HCN с раствором едкого натра происходит реакция, выражаемая в молекулярной форме уравнением

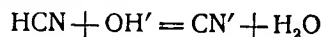


Раствор синильной кислоты содержит главным образом молекулы HCN, находящиеся в равновесии с очень небольшим количеством ионов H^+ и CN^-



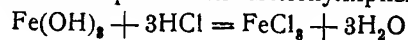
После прибавления к этому раствору щелочи гидроксильные ионы последней начинают взаимодействовать с водородными ионами кислоты, связываясь с ними в молекулы воды. Но уход ионов H^+ из раствора нарушает указанное выше равновесие, вызывая диссоциацию новых молекул HCN, и таким образом постепенно вся синильная кислота диссоциирует, а образующиеся ионы H^+ превращаются в воду.

Для рассматриваемой реакции исходными веществами являются молекулы HCN, полностью диссоциирующие только в процессе реакции, и гидроксильные ионы щелочи, с самого начала реакции имеющиеся в растворе в необходимом количестве; продуктами реакции, кроме молекул воды, являются еще и ионы CN^- , освободившиеся из молекул синильной кислоты. Поэтому ионное уравнение данной реакции записывается так:



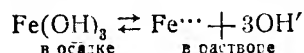
Аналогичный вид имеет ионное уравнение и в том случае, когда одно из взятых веществ мало растворимо в воде и в начале реакции находится в осадке.

Пример 4. Реакция растворения гидрата окиси железа в соляной кислоте выражается молекулярным уравнением



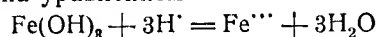
Течение реакции обуславливается образованием молекул воды из ионов H^+ и OH^- . Но в то время как все ионы водорода с самого начала реакции имеются в растворе в свободном состоянии, ионы гидроксила образуются в достаточном количестве только в процессе реакции из почти нераствори-

мого в воде гидрата окиси железа. Последний в момент начала реакции находится в осадке в равновесии с ничтожным количеством ионов Fe^{+++} и OH' , перешедших в раствор



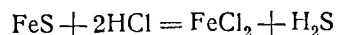
После приливания кислоты ионы гидроксила начинают связываться с ионами водорода, нарушая указанное равновесие и вызывая растворение новых количеств $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Постепенно весь осадок растворяется, и в то же время освобождаются входящие в его состав ионы Fe^{+++} .

Таким образом, исходными веществами при рассматриваемой реакции являются молекулы гидрата окиси железа и ионы водорода, а продуктами реакции — ионы Fe^{+++} и молекулы воды. Поэтому в ионной форме реакция должна быть изображена уравнением

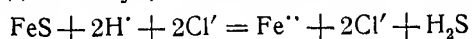


Исходя из всего вышеизложенного, можно рекомендовать следующий порядок составления ионных уравнений.

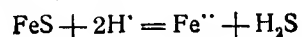
1. Составить молекулярное уравнение рассматриваемой реакции, например реакции растворения FeS в соляной кислоте



2. Переписать это уравнение, показав вещества, практически нерастворимые в воде (FeS) и слабо диссоциирующие (H_2S), в виде молекул, а остальные в виде ионов



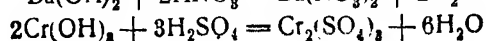
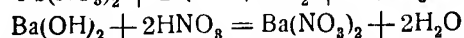
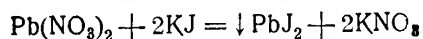
3. Исключить одинаковые ионы, встречающиеся в равном числе в левой и правой частях уравнения, как не участвующие в реакции (ионы Cl')



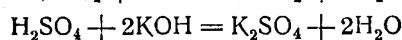
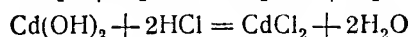
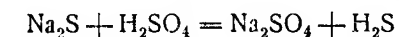
ЗАДАЧИ

При решении задач этого раздела руководствуйтесь данными о растворимости важнейших солей, приведенными в таблице на стр. 58.

469. Выразите ионными уравнениями реакции:



470. Выразите ионными уравнениями реакции:



471. Составьте молекулярные и ионные уравнения следующих реакций: а) взаимодействия между AlCl_3 и Ag_2SO_4 ; б) нейтрализации слабой уксусной кислоты CH_3COOH щелочью; в) действия сероводорода H_2S на раствор NiCl_2 ; г) растворения $\text{Mg}(\text{OH})_2$ в азотной кислоте.

472. Выразите ионными уравнениями следующие реакции: а) растворение FeS и $\text{Fe}(\text{OH})_3$ в серной кислоте; б) нейтрализацию слабой азотистой кислоты HNO_2 едким натром; в) действие щелочи на раствор CuSO_4 .

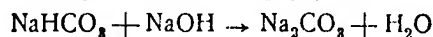
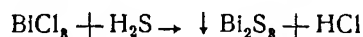
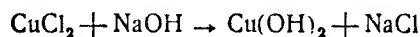
473. Смешивают попарно растворы следующих солей: Na_3PO_4 , CuSO_4 , ZnCl_2 и K_2S (всего шесть комбинаций). Укажите, в каких случаях произойдут реакции, и выразите их ионными уравнениями.

474. Выразите ионными уравнениями реакции растворения ZnS и $\text{Zn}(\text{OH})_2$ в соляной кислоте и реакции, происходящие при смешивании раствора $\text{Ba}(\text{OH})_2$ с растворами FeCl_3 и MgSO_4 .

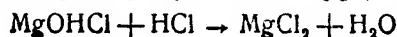
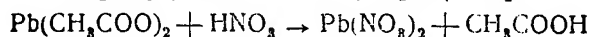
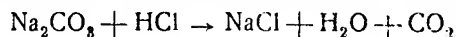
475. Смешивают попарно растворы следующих электролитов: $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, Na_2S , CuSO_4 и KCl (всего шесть комбинаций). В каких случаях произойдут реакции? Составьте для них молекулярные и ионные уравнения.

476. Составьте молекулярные и ионные уравнения реакций, происходящих в растворах между: сероводородом и сульфатом никеля; гидрокарбонатом калия и едким кали; гидратом окиси железа и азотной кислотой.

477. Составьте молекулярные и ионные уравнения реакций, протекающих по схемам:



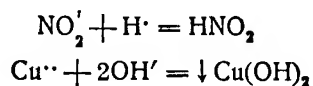
478. Составьте ионные уравнения реакций, идущих по схемам:



479. Выразите молекулярными уравнениями реакции между следующими веществами в растворах: CaCl_2 и $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$; CaSO_4 и Na_2CO_3 ; $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ и Na_2CO_3 ; CaBr_2 и K_2CO_3 . В чем заключается сущность этих реакций? Каким одним ионным уравнением все они могут быть выражены?

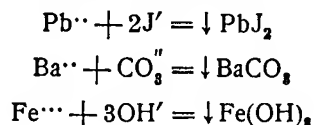
480. Выразите ионными уравнениями реакции, протекающие в растворах между: а) карбонатом бария и серной кислотой; б) нерастворимым в воде основным нитратом висмута и соляной кислотой; в) гидратом окиси бария и хлористым никелем.

481. Подберите такие вещества, взаимодействие между которыми в водных растворах выражалось бы следующими ионными уравнениями:

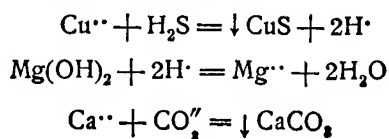


Напишите соответствующие молекулярные уравнения.

482. Подберите молекулярные уравнения для реакций, которые выражаются следующими ионными уравнениями:

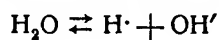


483. Составьте по два полных (молекулярных) уравнения для каждой из следующих реакций:



5. Водородный показатель

В чистой воде некоторая, хотя и очень незначительная, часть молекул H_2O диссоциирована на ионы



Измерениями установлено, что при комнатной температуре (точнее, при 24°) концентрация как водородных, так и гидроксильных ионов в чистой воде равна 10^{-7} г-ион/л:

$$[\text{H}^+] = [\text{OH}'] = 10^{-7} \text{ г-ион/л}$$

Произведение концентраций водородных и гидроксильных ионов воды называется *ионным произведением воды* и численно равно 10^{-14} . Ионное произведение воды есть величина постоянная не только для воды, но и для разбавленных водных растворов любых веществ. Обозначив его через K_{H_2O} , можем написать:

$$K_{H_2O} = [H^+] \cdot [OH^-] = 10^{-14}$$

Строго говоря, $K_{H_2O} = 10^{-14}$ только при 24° . С повышением температуры K_{H_2O} увеличивается, с понижением — уменьшается. Однако для расчетов, относящихся к комнатным температурам, можно во всех случаях принимать K_{H_2O} равным 10^{-14} .

Растворы, в которых концентрация водородных и гидроксильных ионов одинакова и равна 10^{-7} г-ион/л, называются нейтральными растворами. В кислых растворах $[H^+] > [OH^-]$, в щелочных, наоборот, $[OH^-] > [H^+]$. Но как бы ни менялись концентрации H^+ - и OH^- -ионов в растворе, произведение их остается постоянным, равным 10^{-14} . Поэтому, зная концентрацию одного из ионов воды, легко рассчитать и концентрацию второго иона:

$$[H^+] = \frac{10^{-14}}{[OH^-]} \quad [OH^-] = \frac{10^{-14}}{[H^+]}$$

Например, если $[H^+]$ в каком-либо растворе равна $2 \cdot 10^{-5}$ г-ион/л, то $[OH^-] = 10^{-14} : 2 \cdot 10^{-5} = 5 \cdot 10^{-10}$ г-ион/л; если $[OH^-] = 10^{-8}$ г-ион/л, то $[H^+] = 10^{-6}$ г-ион/л, и т. д.

Таким образом, реакция любого водного раствора, степень его кислотности или щелочности, может быть количественно охарактеризована концентрацией только одного из ионов воды. Принято характеризовать ее концентрацией ионов водорода.

По многим соображениям оказалось удобнее вместо концентрации водородных ионов указывать взятый с обратным знаком показатель степени, в которую нужно возвести число 10, чтобы получить числовое значение концентрации. Эта величина называется *водородным показателем* и обозначается символом pH. Например, если $[H^+] = 10^{-6}$ г-ион/л, то pH = 6; если $[H^+] = 5 \cdot 10^{-3}$ или, что то же, $10^{-2.3}$ г-ион/л, то pH = 2,3 и т. д.

Легко видеть, что математически pH представляет собой десятичный логарифм концентрации ионов водорода, взятый с обратным знаком:

$$pH = -\lg_{10} [H^+]$$

Из всего сказанного вытекает, что

- 1) в нейтральном растворе $pH = 7$;
- 2) в кислых растворах $pH < 7$ и тем меньше, чем больше степень кислотности раствора;
- 3) в щелочных растворах $pH > 7$.

Зная pH какого-либо раствора, нетрудно рассчитать, какова в нем концентрация водородных или гидроксильных ионов. Обратно, по величине концентрации водородных или гидроксильных ионов можно установить pH раствора. При вычислениях логарифмы всегда округляют до 0,01, так как на опыте мы не можем определить pH раствора с большей точностью.

Пример 1. Концентрация ионов водорода в растворе равна 0,004 г-ион/л. Определить pH раствора.

Решение. Зная, что $pH = -\lg [H^+]$ и округляя логарифмы до 0,01, получаем

$$pH = -\lg [H^+] = -\lg 0,004 = -\bar{3},60 = \\ = -(-3 + 0,60) = 2,4$$

Пример 2. Определить концентрацию ионов водорода в растворе, pH которого равна 4,6.

Решение. Согласно условию задачи

$$-\lg [H^+] = 4,6 \text{ или } \lg [H^+] = -4,6$$

Чтобы определить отсюда $[H^+]$, нужно найти по данному логарифму число (антилогарифм). Если мы желаем воспользоваться таблицами логарифмов, то предварительно необходимо преобразовать наш логарифм так, чтобы только целочисленная часть его (характеристика) была отрицательной, а дробная (мантисса) — положительной. Для этого от характеристики отнимем единицу, а к мантиссе прибавим единицу:

$$-4,6 = (-4 - 1) + (-0,6 + 1) = -5 + 0,4 = \bar{5},4 \\ \lg [H^+] = \bar{5},4$$

Теперь находим по таблицам соответствующий антилогарифм:

$$[H^+] = 0,000025 = 2,5 \cdot 10^{-5} \text{ г-ион/л}$$

Пример 3. Какова концентрация гидроксильных ионов в растворе, pH которого 10,8?

Решение. Находим концентрацию ионов водорода в растворе:

$$-\lg [H^+] = 10,8 \quad \lg [H^+] = -10,8 = \bar{11},2 \\ [H^+] = 1,6 \cdot 10^{-11} \text{ г-ион/л}$$

Так как $[H^+] \cdot [OH^-] = 10^{-14}$, то

$$[OH^-] = \frac{10^{-14}}{1,6 \cdot 10^{-11}} = 6,25 \cdot 10^{-4} \text{ г-ион/л}$$

ЗАДАЧИ

484. Определите pH 0,002 н. раствора азотной кислоты, считая диссоциацию полной.

485. Вычислите pH 0,01 н. раствора уксусной кислоты, степень диссоциации которой в этом растворе 4,2%.

486. Определите pH раствора, содержащего в литре 0,1 г NaOH, считая диссоциацию последнего полной.

487. Чему равняется pH раствора, в литре которого содержится 0,0051 г гидроксильных ионов?

488. Определите концентрацию водородных и гидроксильных ионов в растворе, pH которого 6,2.

489. Вычислите концентрацию ионов H^+ и pH для 0,5M раствора HCl, ионизированного на 85%.

490. Сколько ионов водорода содержится в 1 мл раствора, pH которого 13?

491. Во сколько раз надо увеличить или уменьшить концентрацию ионов водорода в растворе, чтобы pH его увеличился на единицу?

492. Как изменится pH чистой воды, если к литру ее прибавить 0,001 моля NaOH?

493. Какой объем 0,1 н. раствора щелочи надо прибавить к 10 мл 0,5 н. раствора кислоты, чтобы довести его pH до 7?

494. Дистиллированная вода, находящаяся в соприкосновении с воздухом, содержит в литре $1,35 \cdot 10^{-5}$ моля CO_2 . Вычислите pH воды, учитывая только 1-ю ступень диссоциации угольной кислоты, для которой константа диссоциации равна $3 \cdot 10^{-7}$.

6. Гидролиз солей

Гидролизом соли называется взаимодействие соли с водой, в результате которого образуются кислота (или кислая соль) и основание (или основная соль).

С точки зрения ионной теории сущность гидролиза заключается в соединении ионов соли с водородными или гидроксильными ионами воды (иногда с теми и другими одновременно) и образовании недиссоциированных молекул или новых, слабо диссоциирующих ионов.

Так как сильные кислоты и сильные основания практически полностью диссоциируют на ионы, то очевидно, что

из ионов, входящих в состав солей, могут связываться с ионами воды только ионы кислотных остатков слабых кислот и ионы металлов, образующих слабые основания. Отсюда следует, что гидролизу подвергаются только те соли, в состав которых входят указанные выше ионы, т. е. соли, образованные: а) слабой кислотой и сильным основанием (например NaCN); б) сильной кислотой и слабым основанием (например ZnCl_2); в) слабой кислотой и слабым основанием [например $\text{Al}(\text{CH}_3\text{COO})_3$]. Соль сильной кислоты и сильного основания (например NaCl) гидролизу не подвергается.

Связывание водородных или гидроксильных ионов воды ионами растворенной соли нарушает равновесие между молекулами воды и ее ионами, обуславливая кислую или щелочную реакцию полученного раствора.

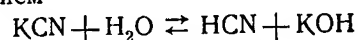
Гидролиз является обратимым процессом. В большинстве случаев гидролизованная часть соли настолько мала, что продукты гидролиза, даже если они практически нерастворимы (например, гидроокиси тяжелых металлов или основные соли), все же не выпадают в осадок, а остаются в растворе.

Ионные уравнения реакций гидролиза составляются по тем же правилам, что и ионные уравнения обычных реакций обмена.

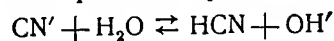
В качестве примера рассмотрим гидролиз цианистого калия KCN .

Гидролиз этой соли обуславливается образованием недиссоциированных молекул очень слабой синильной кислоты HCN .

В молекулярной форме реакция гидролиза KCN выражается уравнением



Ионное уравнение реакции будет



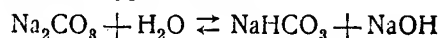
Так как в результате гидролиза образуется избыток OH' -ионов, то раствор KCN обнаруживает щелочную реакцию.

При гидролизе солей, содержащих в своем составе катион сильного основания и анион слабой двух- или многоосновной кислоты, (например, Na_2CO_3 , K_3PO_4), как правило, образуются не свободные кислоты, а их кис-

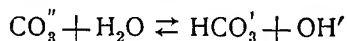
лые соли (точнее, анионы кислых солей). Аналогичным образом в результате гидролиза солей, образованных многовалентными слабыми основаниями и сильными кислотами (например, FeCl_3), обычно получаются не свободные основания, а основные соли (или катионы основных солей).

Рассмотрим несколько примеров.

1. Гидролиз углекислого натрия Na_2CO_3 . При растворении этой соли в воде ионы $\text{CO}_3^{''}$ связываются с водородными ионами воды, образуя почти недиссоциирующие ионы HCO_3' . Образование именно их, а не молекул H_2CO_3 , объясняется тем, что они диссоциируют гораздо труднее, чем молекулы H_2CO_3 . В молекулярной форме реакция выражается уравнением



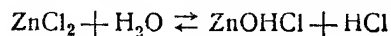
Ионное уравнение реакции:



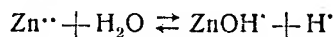
Вследствие избытка OH' -ионов раствор имеет щелочную реакцию.

2. Гидролиз хлористого цинка ZnCl_2 . Течение реакции обусловливается образованием очень слабо диссоциирующих ионов ZnOH' .

В молекулярной форме реакция выражается уравнением

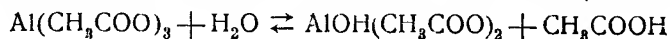


Ионное уравнение реакции:

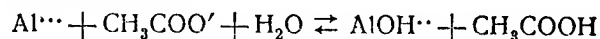


Раствор соли имеет кислую реакцию.

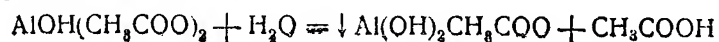
3. Гидролиз уксуснокислого алюминия $\text{Al}(\text{CH}_3\text{COO})_3$. В результате гидролиза этой соли образуются слабая уксусная кислота и основная соль $\text{AlOH}(\text{CH}_3\text{COO})_2$



или в ионной форме

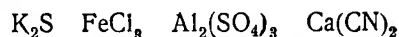


При кипячении раствора гидролиз усиливается, выпадает осадок другой основной соли $\text{Al}(\text{OH})_2\text{CH}_3\text{COO}$ и реакция практически идет до конца



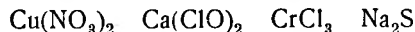
ЗАДАЧИ

495. Составьте молекулярные и ионные уравнения гидролиза следующих солей:

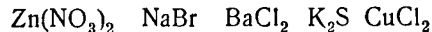


496. Составьте молекулярные и ионные уравнения гидролиза натриевых солей слабых кислот: азотистой HNO_2 и сероводородной H_2S .

497. Выразите ионными уравнениями гидролиз следующих солей:

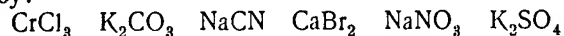


498. Какую реакцию должны иметь растворы следующих солей:



Ответы подтвердите соответствующими ионными уравнениями.

499. Какие из перечисленных ниже солей будут подвергаться гидролизу:



Выразите их гидролиз ионными уравнениями и укажите реакцию их растворов.

500. Как будут действовать на лакмус растворы солей:



Ответ подтвердите, составив ионные уравнения гидролиза соответствующих солей.

501. Составьте молекулярные и ионные уравнения гидролиза уксуснокислого кальция $Ca(CH_3COO)_2$ и хлорноватистокислого натрия $NaClO$. Которая из этих солей в большей степени подвергается гидролизу, если константа диссоциации CH_3COOH равна $1,8 \cdot 10^{-5}$, а константа диссоциации $HClO$ равна $4 \cdot 10^{-8}$?

502. Раствор NaH_2PO_4 имеет слабо кислую реакцию, а раствор Na_3PO_4 — сильно щелочную реакцию. Объясните эти факты и мотивируйте их соответствующими ионными уравнениями.

503. При сливании растворов $CrCl_3$ и Na_2S образуется осадок $Cr(OH)_3$. Объясните его образование и выразите происходящую реакцию ионным уравнением.

504. Составьте молекулярное и ионное уравнения реакции, происходящей при смешивании растворов $Al_2(SO_4)_3$ и K_2S , имея в виду, что сульфид алюминия Al_2S_3 полностью гидролизруется.

505. При смешивании концентрированных растворов хлорного железа $FeCl_3$ и соды Na_2CO_3 выделяется углекислый газ и образуется осадок $Fe(OH)_3$. Объясните его образование и выразите реакцию ионным уравнением.

ГЛАВА XIII

КОМПЛЕКСНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Многие положительно заряженные ионы обладают способностью присоединять к себе ионы противоположного знака или полярные молекулы (NH_3 , H_2O и др.), образуя так называемые *комплексные ионы*. Соединения, в состав которых входят комплексные ионы, называются комплексными соединениями. Из них особенно важное значение имеют различные комплексные соли.

Образование комплексного соединения иллюстрируют следующие примеры.

1. Если на раствор хлористого никеля NiCl_2 подействовать аммиаком, то находящиеся в растворе ионы Ni^{++} присоединяют каждый по 6 молекул NH_3 , превращаясь в комплексные ионы $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{++}$. При выпаривании раствора эти комплексные ионы связываются с ионами Cl^- , и получается комплексная соль $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_2$.

2. При действии раствора иодистого калия KI на осадок иодной ртути HgI_2 осадок растворяется вследствие образования комплексной соли $\text{K}_2[\text{HgI}_4]$, находящейся в растворе в виде ионов K^+ и комплексных ионов $[\text{HgI}_4]^{--}$.

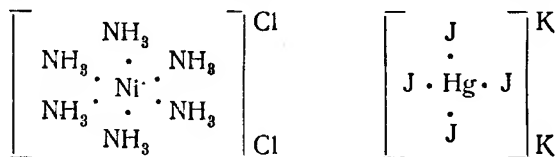
Элементарный ион, присоединяющий к себе при образовании комплексного иона нейтральные молекулы или ионы противоположного знака, называется *комплексобразователем*, или *центральной ионом*. В указанных выше комплексных солях комплексобразователями являются ионы Ni^{++} и Hg^{++} .

Комплексные соединения характеризуются особым пространственным расположением составных частей в молекуле. Центральное место в ней занимает ион-комплексобразователь. В непосредственной близости от него расположено (координировано) некоторое число других ионов или нейтральных молекул, образующих так называемую *внутреннюю координационную сферу*. Остальные ионы находятся на более далеком расстоянии от центрального иона, составляя *внешнюю координационную сферу*. При растворе-

нии комплексного соединения в воде ионы, находящиеся во внешней сфере, отщепляются, ионы же или молекулы, находящиеся во внутренней сфере, остаются связанными с центральным ионом в недиссоциирующий или почти недиссоциирующий комплекс. Чтобы отметить это обстоятельство, в формулах комплексных соединений комплексный ион заключается в квадратные скобки.

Ионы или молекулы, связанные с центральным ионом в комплексе, называются *аддендами*. В состав комплексного иона могут входить одновременно различные адденды. Например, в комплексном ионе $[\text{Co}(\text{NH}_3)_2(\text{NO}_2)_4]'$ аддендами являются молекулы NH_3 и ионы NO_2' .

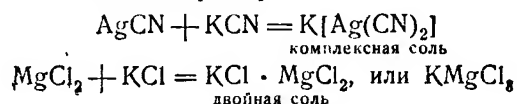
Для наглядного представления о строении комплексных соединений их часто изображают развернутыми структурными («координационными») формулами, отмечая связи между аддендами и центральным ионом точками, например



Каждый комплексообразователь может присоединять лишь определенное число аддендов. Это число называется *координационным числом* комплексообразователя и является характерным для многих элементов. Так, у никеля координационное число обычно равно 6, у ртути 4, у серебра 2 и т. д.

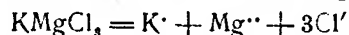
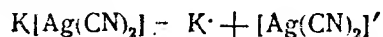
Заряд комплексного иона равен алгебраической сумме зарядов образующих его простых ионов (нейтральные молекулы не влияют на заряд). Например, заряд иона $[\text{Co}(\text{NH}_3)_2(\text{NO}_2)_4]'$ складывается из зарядов иона Co^{+++} и ионов NO_2' и равен $3-4=-1$, заряд иона $[\text{HgJ}_4]''$ равен $2-4=-2$.

Комплексные соли очень сходны с двойными солями. Подобно последним они часто образуются путем соединения двух простых солей, например

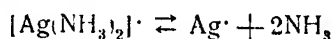


Но двойные соли при растворении в воде распадаются на те же ионы, на которые распадаются и образовавшие их

простые соли, тогда как комплексные соли диссоциируют с отщеплением новых комплексных ионов, имеющих свои характерные свойства:



Однако резкой границы между теми и другими солями провести нельзя, так как многие комплексные ионы тоже могут в большей или меньшей степени диссоциировать с образованием простых ионов. Например, комплексная соль $[Ag(NH_3)_2]NO_3$ в водном растворе распадается на ионы $[Ag(NH_3)_2]^+$ и NO_3^- ; но ион $[Ag(NH_3)_2]^+$ в свою очередь, хотя и в незначительной степени, диссоциирует на ион Ag^+ и молекулы NH_3 :

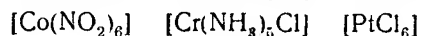
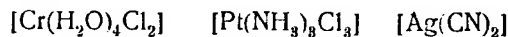


Количество ионов серебра в растворе этой соли настолько мало, что прибавление к раствору поваренной соли не вызывает образования осадка хлористого серебра, так как при этом не достигается величина произведения растворимости $AgCl$. Но при введении в раствор ионов J' тотчас появляется желтый осадок иодистого серебра, у которого произведение растворимости гораздо меньше, чем у хлористого.

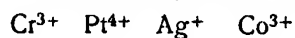
К комплексным соединениям могут быть отнесены также кристаллогидраты различных солей. Например, кристаллогидрат $NiCl_2 \cdot 6H_2O$ следует рассматривать как комплексную соль, у которой 6 молекул воды входят в состав комплексного иона $[Ni(H_2O)_6]Cl_2$.

ЗАДАЧИ

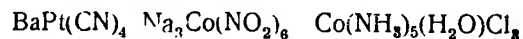
506. Определите величину и знак заряда у следующих комплексных ионов:



имея в виду, что комплексообразователями являются ионы



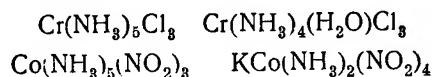
507. Составьте координационные структурные формулы следующих комплексных солей:



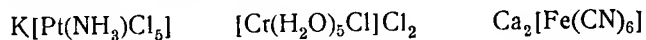
имея в виду, что комплексообразователями являются ионы Co^{3+} и Pt^{2+} .

508. Координационное число двухвалентной меди равно 4. Составьте формулы аммиачного и цианистого комплексов двухвалентной меди, укажите их валентности и дайте примеры солей, в состав которых входили бы эти комплексные ионы.

509. Напишите уравнения диссоциации на ионы следующих комплексных солей, заключив формулы комплексных ионов в квадратные скобки:



510. Какие ионы являются комплексообразователями в следующих комплексных солях:

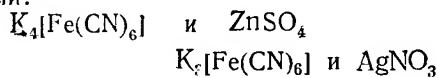


Определите их валентность и координационное число.

511. Из раствора комплексной соли $\text{Pt}(\text{NH}_3)_6\text{Cl}_4$ азотнокислое серебро осаждает весь хлор в виде AgCl , а из раствора соли $\text{Pt}(\text{NH}_3)_3\text{Cl}_4$ только $1/4$ часть входящего в ее состав хлора. Исходя из этого, напишите формулы указанных солей, заключив комплексные ионы в квадратные скобки, и укажите координационное число платины в рассматриваемых солях.

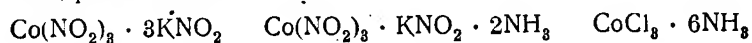
512. Известны две комплексные соли кобальта, отвечающие одной и той же эмпирической формуле $\text{Co ClSO}_4 \cdot 5\text{NH}_3$. Различие между ними проявляется в том, что раствор первой соли дает с BaCl_2 осадок BaSO_4 , но не дает осадка с AgNO_3 ; раствор другой соли, наоборот, дает осадок с AgNO_3 , но не дает осадка с BaCl_2 . Напишите координационные формулы обеих солей и укажите координационное число кобальта.

513. Напишите молекулярные и ионные уравнения реакций обмена, происходящих между следующими взятыми попарно солями:



имея в виду, что образующиеся в результате реакции комплексные соли нерастворимы в воде.

514. Напишите уравнения диссоциации на ионы следующих комплексных солей кобальта, заключив комплексные ионы в квадратные скобки:



515. Безводный хлорид хрома CrCl_3 , присоединяя аммиак, может образовать две комплексные соли: $\text{CrCl}_3 \cdot 5\text{NH}_3$ и $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{NH}_3$. Напишите комплексные формулы этих солей и

уравнения их диссоциации на ионы, зная, что из раствора одной соли азотнокислое серебро осаждает весь содержащийся в ней хлор, а из раствора другой — только $\frac{2}{3}$ входящего в ее состав хлора.

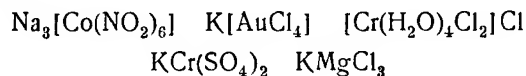
516. Из раствора комплексной соли $\text{CoCl}_3 \cdot 5\text{NH}_3$ азотнокислое серебро осаждает только $\frac{2}{3}$ содержащегося в ней хлора. Напишите структурную формулу соли и укажите координационное число комплексообразователя.

517. Комплексная соль имеет состав, выражаемый формулой $\text{CoClSO}_4 \cdot 5\text{NH}_3$. При действии на ее раствор азотнокислым серебром осадка не образуется, а хлористый барий осаждает из раствора BaSO_4 . Напишите уравнение диссоциации этой соли на ионы, заключив комплексный ион в квадратные скобки.

518. Растворы простых солей кадмия образуют со щелочами белый осадок $\text{Cd}(\text{OH})_2$, а с сероводородом — желтый осадок CdS . Чем можно объяснить, что раствор комплексной цианистой соли кадмия $\text{K}_2[\text{Cd}(\text{CN})_4]$, образуя осадок с сероводородом, в то же время не дает осадка со щелочами.

519. Иодистый калий KJ осаждает серебро в виде AgJ из раствора комплексной соли $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{NO}_3$, но не вызывает образования осадка в растворе соли $[\text{Ag}(\text{CN})_2]$. С сероводородом же оба раствора дают осадок Ag_2S . Какой вывод можно отсюда сделать относительно диссоциации комплексных ионов $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ и $[\text{Ag}(\text{CN})_2]^-$? У какой соли, Ag_2S или AgJ , произведение растворимости меньше?

520. В чем заключается различие между комплексными и двойными солями с точки зрения ионной теории? Напишите уравнения диссоциации на ионы следующих комплексных и двойных солей:



Укажите валентность и координационные числа комплексообразователей в этих комплексных солях.

521. Если к раствору, содержащему ионы Fe^{+++} , прибавить роданистого калия KCNS , то жидкость окрашивается в интенсивный кроваво-красный цвет вследствие образования роданистого железа $\text{Fe}(\text{CNS})_3$. Появится ли красная окраска при действии роданистого калия: а) на раствор железомонийных квасцов $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$? б) на раствор феррицианида калия $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$? Ответ мотивируйте.

ГЛАВА XIV
ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ
Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА

1. Зависимость свойств элементов от строения их атомов

Согласно современным воззрениям свойства химических элементов определяются строением их атомов. В таблице периодической системы Менделеева элементы расположены в порядке возрастания ядерных зарядов их атомов и разбиты по горизонтали на семь периодов (три малых и четыре больших). Первый период содержит 2 элемента, второй и третий — по 8 элементов, четвертый и пятый — по 18 элементов, шестой — 32 элемента и седьмой, незаконченный, — 12 элементов. Порядковый номер элемента указывает заряд ядра его атома, а вместе с тем и число электронов, обращающихся вокруг ядра. Последние образуют несколько слоев. Предельное число электронов (N) в каждом слое, как уже указывалось ранее (см. стр. 74), определяется формулой: $N = 2n^2$, где n — номер слоя.

С увеличением ядерных зарядов растет как общее число электронов в атомах, так и число электронных слоев. Появление новых слоев и их заполнение электронами можно проследить по таблице периодической системы, помещенной в конце книги.

Из таблицы видно, что в каждом периоде идет построение нового электронного слоя, а в больших периодах, кроме того, достройка глубжележащих слоев. Поэтому *общее число электронных слоев в атоме равно номеру периода, в котором находится элемент.*

В периодической системе свойства элементов изменяются в определенной последовательности — с увеличением порядковых номеров элементов. Наиболее характерным химическим свойством металлов является способность их атомов легко отдавать свои наружные электроны и превращаться в положительно заряженные ионы. Металлоиды, наоборот,

характеризуются способностью присоединять электроны с образованием отрицательно заряженных ионов.

Рассмотрим изменение свойств элементов в периодах.

В пределах каждого периода (кроме первого) металлические свойства, ярко выраженные у первого члена периода, у следующих членов периода постепенно ослабевают, уступая место металлоидным свойствам; в начале периода стоит типичный металл, в конце — типичный металлоид, а за ним инертный газ.

Закономерное изменение свойств элементов в периодах объясняется тем, что с увеличением ядерных зарядов атомов притяжение электронов к ядру усиливается, вследствие чего отдача их, характерная для металлов, затрудняется. В то же время у атомов появляется склонность к присоединению электронов, растущая по мере приближения к концу периода.

Кроме деления по горизонтали, все элементы в таблице периодической системы разбиваются по вертикали на девять групп. Первые семь групп в свою очередь делятся каждая на две подгруппы — главную и побочную. В пределах каждой подгруппы с увеличением порядкового номера растет и число электронных слоев в атомах. Так как при этом наружные электроны дальше отодвигаются от ядра, то их притяжение к ядру становится слабее, и они легче могут отрываться от атома. Поэтому по вертикали металлические свойства элементов с увеличением порядкового номера, как правило, усиливаются, а металлоидные ослабевают.

Изложенные закономерности позволяют, исходя из порядкового номера элемента, определять положение элемента в периодической системе, выводить строение электронных слоев его атома, устанавливать основные химические свойства элемента.

Пример 1. Определить, в каком периоде и в какой группе находится элемент вольфрам с порядковым номером 74.

Решение. Так как в первых пяти периодах содержится $2 + 8 + 8 + 18 + 18 = 54$ элемента, а в шестом периоде 32, то, очевидно, рассматриваемый элемент находится в шестом периоде, где занимает двадцатое от начала периода место ($74 - 54 = 20$). Принимая во внимание, что в состав первой половины шестого периода (восьмой ряд) входят 14 элементов, следующих за лантаном и относящихся к III группе, заключаем, что наш элемент должен стоять в четном ряду шестого периода в VI группе ($20 - 14 = 6$).

Пример 2. Каково строение электронных слоев у элемента с порядковым номером 33?

Решение. Рассуждая, как и в предыдущем примере, определяем положение элемента в периодической системе. Устанавливаем, что он находится в четвертом периоде, в нечетном ряду, в V группе.

Так как в четном ряду (в первой половине) четвертого периода происходит достройка третьего электронного слоя до 18 электронов, то у всех элементов нечетного ряда четвертого периода первые 3 электронных слоя заполнены, число электронов в четвертом слое равняется номеру группы. Следовательно, строение электронных слоев у рассматриваемого элемента будет таково: первый слой — 2 электрона, второй слой — 8 электронов, третий слой — 18 электронов и четвертый слой — 5 электронов.

Пример 3. Установить основные химические свойства элемента, имеющего порядковый номер 52, исходя из строения его атома.

Решение. Наличие шести электронов в наружном слое атома характеризует рассматриваемый элемент как металлоид. Однако в связи со значительным удалением наружных электронов от ядра его металлоидные свойства должны быть несколько ослаблены.

Высшая положительная валентность элемента должна равняться 6, отрицательная — 2. Формула высшего окисла RO_3 . Элемент должен образовывать с водородом газообразное соединение типа RH_2 .

ЗАДАЧИ

522. Для каких элементов характерно образование газообразных соединений с водородом? В каких группах периодической системы находятся эти элементы? Укажите, какие из образуемых ими водородных соединений обладают кислотными свойствами.

523. Элемент, высший солеобразующий окисел которого отвечает формуле R_2O_5 , образует с водородом газообразное соединение, содержащее 3,85% водорода. Назовите этот элемент.

524. При взаимодействии 0,75 г двухвалентного металла с водой выделилось 420 мл водорода, измеренного при нормальных условиях. Назовите этот металл.

525. Начертите электронные схемы строения атомов первых четырех элементов четвертого периода, укажите их наибольшую валентность и изобразите символами соответствующие ионы.

526. Начертите электронные схемы строения атомов элементов, имеющих порядковые номера 14, 15, 16 и 17. Укажите

наибольшую положительную и отрицательную валентность каждого элемента.

527. Начертите электронные схемы строения отрицательных ионов серы и хлора. Почему, имея одинаковое строение электронной оболочки, они обладают совершенно различными свойствами?

528. Почему у элемента VII группы марганца преобладают металлические свойства, тогда как стоящие в той же группе галогены являются типичными металлоидами? Дайте ответ, исходя из строения атомов указанных элементов.

529. С каким элементом более сходен молибден по строению атома—с селеном или хромом? Какие свойства, металлические или металлоидные, должны у него преобладать? Почему?

530. У какого из элементов II группы, у кальция или у бария, должны быть сильнее выражены металлические свойства? Почему? Какой из них образует более сильное основание?

531. Как изменяются свойства элементов в периодах и в главных подгруппах периодической системы с увеличением порядковых номеров? Объясните это изменение свойств, исходя из строения атомов элементов.

532. Исходя из строения электронных оболочек атомов, решите, у какого из элементов IV группы, у титана или германия, должны сильнее проявляться металлические свойства? Почему?

533. В какой группе и в каких рядах, четных или нечетных, находятся элементы, имеющие в наружном электронном слое атома 2 электрона, а в предпоследнем 13? Какова их наибольшая возможная валентность? Какие свойства, металлические или металлоидные, у них преобладают?

534. Какими химическими свойствами должен обладать искусственно полученный элемент с порядковым номером 87? С каким из стоящих в таблице давно известных элементов он должен быть наиболее сходен?

535. Максимальная валентность элемента по кислороду равна 7. Внешняя электронная оболочка его атома состоит из двух электронов. Образует ли элемент газообразное соединение с водородом?

536. Чем объясняется периодическое изменение валентности элементов с увеличением их порядковых номеров? Почему у элементов №№ 58—71 (лантаноиды) валентность не изменяется с увеличением порядковых номеров?

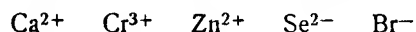
537. Укажите ионы элементов третьего периода, сходные по строению электронной оболочки с атомом неона. Изобразите их соответствующими символами.

538. Какие ионы первых четырех элементов четвертого

периода сходны по своему строению с атомом аргона? Изобразите их соответствующими символами.

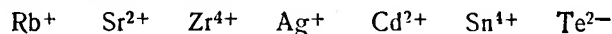
539. Укажите, какие ионы более сходны по строению своих внешних электронных оболочек: Cd^{2+} и Ag^{+} или Cd^{2+} и Ba^{2+} .

540. Сколько электронов содержат в наружном слое следующие ионы элементов четвертого периода:



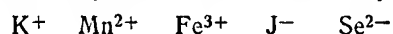
Какие из них сходны по строению электронной оболочки с атомами инертных газов?

541. Сколько электронов содержат в наружном слое ионы элементов пятого периода:



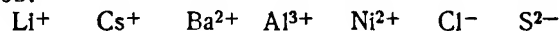
Какие из них сходны по строению электронной оболочки с атомом инертного газа криптона?

542. Сколько электронных слоев имеется у ионов:



543. Какова максимальная валентность по кислороду и валентность по водороду у элементов, имеющих в двух внешних электронных слоях: один—18 и 5 электронов, другой—8 и 7 электронов.

544. Дайте схемы строения электронных оболочек следующих ионов:



545. Одинаково ли строение электронных оболочек: а) у ионов хлора и ионов кальция в кристаллах CaCl_2 ? б) у ионов брома и ионов натрия в кристаллах NaBr ?

2. Радиоактивность. Закон смещения. Изотопы

Радиоактивностью называется свойство некоторых элементов испускать невидимые лучи, которые проходят сквозь тела, непрозрачные для обыкновенных световых лучей, ионизируют воздух и вызывают почернение фотографической пластинки.

Различают три вида лучей, испускаемых радиоактивными элементами:

1) α -лучи — поток частиц с массой, равной 4 кислор. ед., несущих каждая два элементарных положительных заряда (ядра гелия);

2) β -лучи — поток электронов, летящих со скоростью, близкой к скорости света;

3) γ -лучи — электромагнитные колебания очень большой частоты, отличающиеся от лучей Рентгена значительно меньшей длиной волны.

Испускание лучей радиоактивными элементами является следствием самопроизвольного распада их атомов, в результате которого образуются атомы новых химических элементов. Распад атомов сопровождается выбрасыванием α -частиц (ядер гелия) или β -частиц (электронов).

Количество атомов радиоактивного элемента, распадающихся в каждый данный момент, пропорционально количеству имеющихся атомов (закон радиоактивного распада).

Коэффициент пропорциональности, показывающий, какая часть наличного числа атомов распадается в единицу времени, называется *константой распада* радиоактивного элемента. Зная константу распада K , можно вычислить количество распавшихся за любой промежуток времени атомов. Если, например, в секунду распадается $1/100$ часть наличного количества радиоактивного элемента, то в следующую секунду распадается $1/100$ часть остатка, еще в следующую — $1/100$ часть нового остатка и т. д.

Промежуток времени, в течение которого распадается половина первоначального количества радиоактивного элемента, называется его *периодом полураспада*.

Величина, обратная константе распада, называется *средней продолжительностью жизни* радиоактивного элемента. Очевидно, это есть промежуток времени, в течение которого любое количество радиоактивного элемента разложилось бы без остатка, если бы распад все время шел с начальной скоростью. Средняя продолжительность жизни (τ) связана с периодом полураспада (T) соотношением $\tau = 1,44T$.

Размещение элементов, образующихся при радиоактивном распаде, в таблице периодической системы, а также нахождение их атомных весов производится на основании *закона смещения*, или *правила сдвига*, сущность которого заключается в следующем. При выбрасывании из ядра атома α -частицы масса ядра уменьшается на 4 единицы, а заряд ядра на 2. Поэтому образовавшийся элемент имеет атомный вес на 4, а порядковый номер на 2 единицы меньше, чем материнский, и смещается в таблице на два места влево. Выбрасывание β -частицы не вызывает изменения атомного веса, так как масса частицы ничтожно мала ($1/1840$ массы атома водорода), но заряд ядра увеличивается на 1, вследствие чего образующийся элемент смещается на одно место вправо.

Пример 1. Определить место в периодической системе и атомный вес элемента, образовавшегося из радия в результате потери им четырех α -частиц и двух β -частиц.

Решение. Порядковый номер радия 88. Потеря четырех α -частиц уменьшает заряд ядра на 8, а потеря двух β -частиц увеличивает его на 2. Следовательно, порядковый номер образовавшегося элемента должен быть на 6 единиц меньше, чем у радия, т. е. 82.

Положение нового элемента в периодической системе можно установить (не пользуясь таблицей) путем расчета по методу, указанному в разделе 1 (см. пример 3 на стр. 158). Произведя такой расчет, найдем, что элемент должен находиться в шестом периоде, в нечетном ряду в IV группе.

Пример 2. Одним из промежуточных продуктов распада тория является торон, атомный вес которого 220, а порядковый номер 86. Сколько α - и β -частиц должен потерять атом тория, чтобы превратиться в атом торона?

Решение. Атомный вес тория 232. Разница между ним и атомным весом торона 12. Следовательно, при превращении в атом торона атом тория должен потерять три α -частицы.

Порядковый номер тория 90. Если бы превращение в торон сопровождалось только потерей α -частиц, то порядковый номер торона должен был бы равняться 84. А так как он равен 86, то, очевидно, каждый атом тория, кроме трех α -частиц, должен потерять еще две β -частицы.

Разновидности атомов одного и того же элемента, у которых заряды ядер, а следовательно, и все химические свойства одинаковы, но веса различны, называют *изотопами*.

Большинство химических элементов представляет собой смеси изотопов, т. е. состоит из атомов различного веса. Поэтому определяемый обычными химическими методами атомный вес элемента есть лишь среднее арифметическое из весов изотопов, образующих данную смесь. Атомные веса изотопов выражаются почти точно целыми числами.

Для обозначения изотопов одного и того же элемента к химическому символу элемента приписывают справа вверху атомный вес изотопа. Например, изотопы хлора обозначают так: Cl^{35} и Cl^{37} .

ЗАДАЧИ

546. В течение часа подвергается распаду $1/6$ часть некоторого радиоактивного элемента. Постройте график, показываю-

ций уменьшение количества этого элемента с течением времени, и по графику найдите период полураспада.

547. Константа распада радия Е равна $1,6 \cdot 10^{-6}$ (в секунду). Определите среднюю продолжительность жизни этого элемента.

548. Константа распада радия А равна $3,8 \cdot 10^{-8}$ (в секунду). Определите период полураспада и среднюю продолжительность жизни радия А.

549. В сосуде имеется 0,01 г радона. Период полураспада радона равен приблизительно 4 дням. Какое количество радона останется в сосуде через 20 дней?

550. 1 г радия выбрасывает в секунду $3,5 \cdot 10^{10}$ α -частиц. Рассчитайте, через сколько времени указанное количество радия разложится целиком, если разложение будет все время идти с начальной скоростью. Как называется этот период времени?

551. Имеется 1 мг радия С, период полураспада которого равен приблизительно 20 мин. Какое количество радия С останется через 3 часа?

552. Чем объяснить, что радий, несмотря на то, что он непрерывно разрушается, до сих пор встречается в природе?

553. Через сколько лет 1 г радия уменьшится в весе вследствие радиоактивного распада до $\frac{1}{8}$ г, если период полураспада радия равняется 1580 годам?

554. Если атом элемента потеряет одну α -частицу и две β -частицы, изменится ли его вес? Изменится ли заряд ядра?

555. Сколько α - и β -частиц должен был бы потерять атом свинца Pb^{208} , чтобы превратиться в атом ртути Hg^{200} ?

556. Калий и рубидий слабо радиоактивны и испускают β -лучи. В какие элементы они при этом превращаются?

557. В какую группу периодической системы должен попасть элемент, образовавшийся из тория путем излучения его атомом четырех α -частиц и двух β -частиц? Каковы должны быть: а) его атомный вес; б) валентность; в) число электронов в наружном слое атома; г) формула высшего окисла; д) формула водородного соединения?

558. К какой группе периодической системы будет принадлежать элемент, образовавшийся из урана U^{238} вследствие потери атомом урана двух α -частиц и двух β -частиц? Каков будет его атомный вес? С каким из стоящих в таблице элементов он будет тождествен по химическим свойствам?

559. Какой объем займет при нормальных условиях гелий, образовавшийся вследствие превращения в свинец 1 граммота тория (ат. вес 232)? При расчете следует иметь в виду, что молекулы гелия одноатомны.

560. Сколько граммов свинца и сколько литров гелия, приведенных к нормальным условиям, получится в результате распада 1 граммота радия?

561. Чем могут отличаться друг от друга атомы одного и того же элемента? Как называются такие атомы? Могут ли атомы различных элементов иметь одинаковый вес? Ответ подтвердите примерами.

562. Азот состоит из изотопов N^{14} и N^{15} , а водород — из изотопов H^1 и H^2 . Сколько различных видов молекул содержит обыкновенный аммиак? Напишите их формулы (например $N^{14}H^2H^1_2$) и укажите их молекулярные веса.

563. Кислород состоит из изотопов O^{16} , O^{17} и O^{18} , а углерод — из изотопов C^{12} и C^{13} . Сколько различных видов молекул содержит углекислый газ? Напишите их формулы и укажите их молекулярные веса.

564. Изотоп какого элемента (из имеющихся в таблице периодической системы) получится при потере атомом тория Th^{232} пяти α -частиц и двух β -частиц? Какой будет ат. вес этого изотопа?

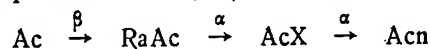
565. Хлор (ат. вес 35,46) состоит из изотопов Cl^{35} и Cl^{37} . Сколько процентов атомов того и другого изотопа он содержит?

566. Природный галлий (ат. вес 69,72) состоит из изотопов Ga^{69} и Ga^{71} . Сколько процентов атомов того и другого изотопа он содержит?

567. Природный рубидий состоит из изотопов Rb^{85} и Rb^{87} и содержит 72,8% первого изотопа и 27,2% второго изотопа. Рассчитайте средний атомный вес рубидия.

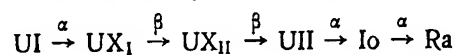
568. Природная медь состоит из изотопов Cu^{63} и Cu^{65} . Отношение числа атомов Cu^{63} к числу атомов Cu^{65} в смеси равно 8 : 3. Рассчитайте средний атомный вес меди.

569. Превращение актиния (ат. вес 227) в актинон идет по схеме



Укажите для каждого из продуктов распада его атомный вес, порядковый номер и химический символ изотопного с ним элемента из таблицы периодической системы.

570. Радиоактивный ряд уран — радий имеет вид:



Рассчитайте атомный вес и порядковый номер для каждого из промежуточных членов этого ряда. Укажите, какой из элементов, имеющихся в таблице периодической системы, является его изотопом.

ГЛАВА XV

ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ РЕАКЦИИ

1. Окисление и восстановление

Окислительно-восстановительными называются реакции, при которых происходит изменение валентности элементов, входящих в состав реагирующих веществ. Изменение валентности происходит вследствие перехода электронов от одних атомов или ионов к другим.

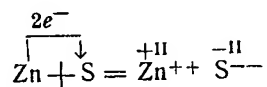
Окислением называется процесс потери электронов атомами или ионами, восстановлением — процесс присоединения электронов.

Вещество, атомы или ионы которого присоединяют к себе электроны, отнимая их от других веществ, называется *окислителем*, а вещество, атомы или ионы которого отдают электроны, называется *восстановителем*. Окислитель в процессе реакции отнимает электроны от окисляющегося вещества и сам при этом восстанавливается; наоборот, восстановитель, теряя электроны, окисляется. Так как теряемые одним веществом электроны сейчас же присоединяются к другому веществу, то окисление всегда сопровождается восстановлением, а восстановление — окислением.

Простейшими окислительно-восстановительными реакциями являются реакции образования сложных веществ из простых, а также реакции вытеснения одних элементов из их соединений другими элементами.

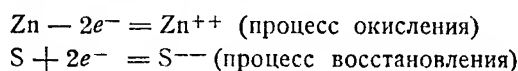
Разберем несколько примеров.

1. Реакция образования сернистого цинка ZnS из серы и цинка выражается уравнением:



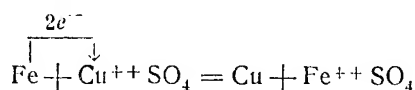
Сущность реакции заключается в переходе двух электронов от каждого атома цинка к каждому атому серы,

вследствие чего оба атома превращаются в ионы, образующие затем сернистый цинк. Цинк окисляется; валентность его в результате реакции повышается от 0 до +2. Сера восстанавливается, ее валентность понижается от 0 до -2. Все происходящее можно наглядно представить, если выразить процесс окисления и процесс восстановления отдельными «электронными» уравнениями:

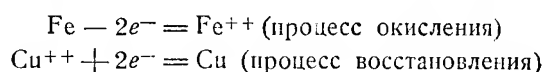


Цинк — восстановитель, сера — окислитель.

2. Реакция вытеснения меди из ее соли (CuSO_4) железом:

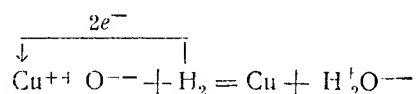


Ион меди Cu^{++} отнимает у атома железа два электрона, превращаясь в электронейтральный атом меди, а атом железа становится положительным двухзарядным ионом:

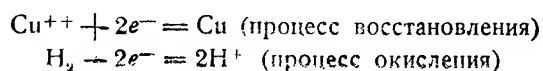


Железо окисляется, валентность его повышается от 0 до +2; медь (ионы Cu^{++}) восстанавливается, валентность ее понижается с +2 до 0. Железо — восстановитель, ион меди — окислитель.

3. Восстановление окиси меди водородом:



При этой реакции ион меди Cu^{++} отнимает у двух атомов водорода, образующих молекулу H_2 , два электрона, превращаясь в нейтральный атом меди, а атомы водорода, теряя электроны, превращаются в положительные однозарядные ионы H^+ . Ион меди является окислителем, водород — восстановителем.



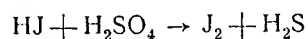
2. Составление уравнений окислительно-восстановительных реакций

Так как при реакциях окисления-восстановления электроны только переходят от одних атомов или ионов к другим, то очевидно, что число электронов, приобретаемых окислителем, должно равняться числу электронов, отдаваемых восстановителем. Поэтому, составляя уравнение реакции между окисляющим и восстанавливающим веществами, коэффициенты при формулах этих веществ подбирают так, чтобы произведение из числа реагирующих атомов или молекул окисляющего вещества на число приобретаемых им электронов равнялось аналогичному произведению для восстанавливающего вещества. При этом о числе потерянных или приобретенных электронов судят по изменению валентности соответствующих элементов в результате реакции.

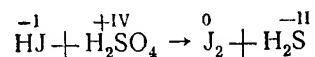
При составлении уравнений окислительно-восстановительных реакций необходимо, конечно, знать, во что превращаются в результате реакции окисляющее и восстанавливающее вещества. Нередко это можно заранее предсказать на основании известных свойств обоих веществ. Если реакция протекает в растворе, то в ней может принимать участие также и вода; вопрос об участии последней выясняется в процессе составления уравнения реакции.

Чтобы на конкретных примерах ознакомиться с приемом нахождения коэффициентов, попробуем составить несколько уравнений окислительно-восстановительных реакций.

1. Окисление иодистого водорода концентрированной серной кислотой. Реакция идет по схеме:

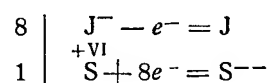


Определяем валентность участвующих в окислении-восстановлении элементов до и после реакции и отмечаем ее римскими цифрами, поставленными над символами элементов:



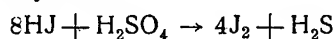
Валентность иода в результате реакции повысилась с -1 до 0 ; следовательно, иод (ион I^-) окислился, и каждый ион его потерял в процессе реакции один электрон. Валентность же серы понизилась с $+6$ до -2 , т. е. сера восстановилась. Понижение валентности серы произошло

вследствие перехода электронов от ионов J^- к серной кислоте. Можно принять, что при этом каждый атом серы, ковалентно связанный в ионе SO_4^{--} с атомами кислорода, присоединил 8 электронов и превратился в ион S^{--} , вошедший в состав молекулы сероводорода. Обозначив этот атом через ^{+VI}S , записываем происходящее при реакции перемещение электронов в виде следующих электронных уравнений *:

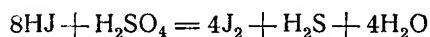


Число электронов, отдаваемых ионами иода, должно равняться числу электронов, присоединяемых атомами серы ^{+VI}S , поэтому на каждый атом ^{+VI}S надо взять восемь ионов иода, т. е. на одну молекулу H_2SO_4 восемь молекул HJ , что и отмечаем цифрами, поставленными слева от написанных уравнений (за чертой).

Таким образом мы находим коэффициенты при окислителе (H_2SO_4) и восстановителе (HJ), а вместе с тем и коэффициенты для веществ, получающихся в результате окисления-восстановления, так как совершенно ясно, что из восьми молекул HJ должны образоваться четыре молекулы J_2 и из одной молекулы H_2SO_4 только одна молекула H_2S . Подставляя найденные коэффициенты в написанную выше схему реакции, получаем:



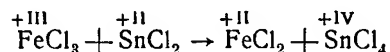
Сравнивая теперь число атомов водорода в левой и правой частях схемы, находим, что в правой части схемы недостает восьми атомов водорода и отсутствует кислород. Очевидно, что, помимо указанных в схеме непосредственных продуктов окисления-восстановления, при реакции образуется еще и вода. Число молекул последней устанавливаем, исходя из числа недостающих атомов водорода. Приписав к правой части схемы четыре молекулы воды и заменив стрелку знаком равенства, получаем:



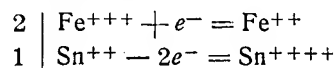
* В дальнейшем атомы, связанные ковалентной связью, в молекулах сложных веществ или в сложных ионах мы будем обозначать символами соответствующих элементов, ставя над ними римскую цифру, указывающую валентность элемента (атома).

Правильность составления уравнения проверяем путем подсчета числа атомов кислорода в обеих его частях.

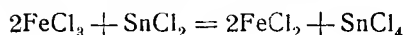
2. Восстановление хлорного железа FeCl_3 хлористым оловом SnCl_2 . Схема этой реакции такова:



Из схемы видно, что в результате реакции валентность железа снижается с $+3$ до $+2$, а валентность олова повышается с $+2$ до $+4$. Следовательно, железо (ионы Fe^{+++}) восстанавливается, а олово (ионы Sn^{++}) окисляется. Это происходит, очевидно, вследствие перехода электронов от ионов олова к ионам трехвалентного железа, причем каждый ион олова Sn^{++} теряет два электрона, а каждый ион железа Fe^{+++} присоединяет один электрон. Изображая эти процессы электронными уравнениями, составляем (как и в предыдущем примере) схему происходящего при реакции перераспределения электронов и по ней находим коэффициенты к уравнению реакции:



Числа 2 и 1 являются коэффициентами при формулах веществ в левой части уравнения реакции. Исходя из них, рассчитываем коэффициенты для правой части уравнения. Подставив найденные коэффициенты в приведенную выше схему реакции и заменив стрелку знаком равенства, получаем окончательное уравнение реакции:



Подсчет числа атомов в правой и левой его частях показывает, что уравнение составлено правильно.

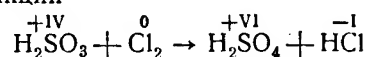
Так как рассматриваемая реакция происходит между электролитами в водном растворе, то она может быть выражена ионным уравнением:



При проверке правильности составления ионных уравнений следует иметь в виду, что во всяком ионном уравнении не только общее число атомов или ионов каждого элемента в той и другой части уравнения должно быть одинаково, но и алгебраическая сумма всех зарядов в левой части уравнения должна равняться алгебраической сумме

зарядов правой части уравнения. Так, например, в данном случае уравнение составлено правильно, поскольку $3 \cdot 2 + 2 = 2 \cdot 2 + 4$.

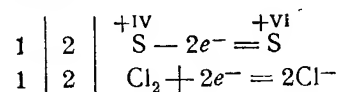
3. Окисление сернистой кислоты хлором. Схема этой реакции



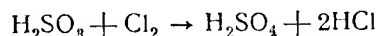
показывает, что в результате реакции валентность серы повышается с $+4$ до $+6$, а валентность хлора понижается с 0 до -1 .

Повышение валентности происходит вследствие перехода двух электронов от молекулы сернистой кислоты к молекуле хлора. Можно допустить, что эти два электрона теряют атом серы $\overset{+IV}{\text{S}}$, ковалентно связанный с атомами кислорода в молекуле H_2SO_3 , превращаясь при этом в положительный шестивалентный атом серы $\overset{+VI}{\text{S}}$, входящий в состав молекулы H_2SO_4 . В то же время атомы хлора, присоединяя каждый по одному электрону, превращаются в отрицательные ионы Cl^- .

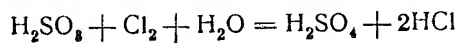
Выразив происходящие процессы электронными уравнениями, находим по ним коэффициенты к формулам окислителя и восстановителя



показывающие, что на окисление одной молекулы H_2SO_3 идет одна молекула Cl_2 , и в результате окисления-восстановления получается одна молекула H_2SO_4 и две молекулы HCl . Вводя в схему реакции коэффициент 2 при формуле HCl , получаем:



Подсчитав число атомов водорода в обеих частях схемы, приходим к заключению, что в реакции должна еще участвовать одна молекула воды. Приписав ее к левой части схемы, заменяем стрелку знаком равенства и получаем уравнение реакции в окончательном виде:

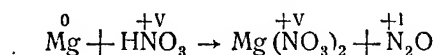


Очень часто при окислительно-восстановительных реакциях окислителем является какая-нибудь кислота, причем

молекулы ее расходуются не только на окисление, но и на связывание образующихся при реакции ионов, например при окислении металлов — на связывание ионов металла и образование соли. В таких случаях при составлении окончательного уравнения реакции к числу молекул кислоты, найденному из электронных уравнений, приходится еще прибавить соответствующее число молекул, затрачиваемых на солеобразование.

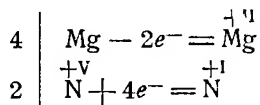
Рассмотрим, например, следующую реакцию.

4. Окисление магния разбавленной азотной кислотой. При взаимодействии магния с разбавленной азотной кислотой продуктами окисления-восстановления являются азотнокислый магний $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ и закись азота N_2O . Реакция идет по схеме:

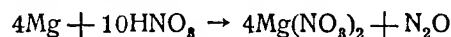


Из схемы видно, что в результате реакции магний окисляется, так как валентность его повышается от 0 до +2, а азот восстанавливается, понижая свою валентность с +5 до +1.

Составив электронные уравнения для процесса окисления и процесса восстановления

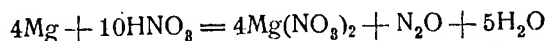


находим, что на окисление каждого четырех атомов магния должно пойти две молекулы азотной кислоты, которые в результате взаимодействия с магнием дадут одну молекулу N_2O . Но одновременно должно получиться четыре молекулы $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$, для образования которых требуется еще восемь молекул азотной кислоты. Таким образом, всего в реакции будут участвовать десять молекул HNO_3 . Из них только две молекулы расходуются на окисление магния, так как только два атома азота понижают свою валентность с +5 до +1, остальные же шесть молекул HNO_3 идут на образование соли $(\text{MgNO}_3)_2$. Вводя найденные коэффициенты в схему реакции, получаем:

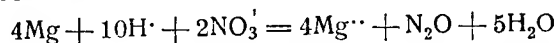


Теперь в левой части схемы десять атомов водорода, в правой — водород отсутствует. Отсюда заключаем, что при реакции образуется еще пять молекул воды. Приписав их

к правой части схемы, получаем окончательное уравнение реакции



Выражая рассматриваемую реакцию в ионной форме, получаем уравнение:

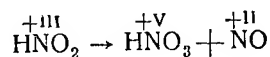


из которого особенно ясно видно, что на окисление четырех атомов магния расходуется только два иона NO_3^- , т. е. две молекулы азотной кислоты, а не десять, указанных в молекулярном уравнении.

Подсчет положительных и отрицательных зарядов в правой и левой частях ионного уравнения показывает, что уравнение составлено правильно ($+10 - 2 = 2 \cdot 4$).

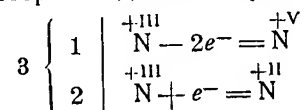
Одним из частных случаев окисления-восстановления являются реакции, при которых и роль окислителя и роль восстановителя играют атомы или ионы одного и того же элемента. Такой процесс называется самоокислением-само-восстановлением.

5. Разложение азотистой кислоты HNO_2 при нагревании:



При этой реакции атомы трехвалентного азота $\overset{+III}{\text{N}}$ являются одновременно и окислителями и восстановителями, т. е. часть молекул азотистой кислоты играет роль окислителя, а другая часть — роль восстановителя. Первые молекулы в результате реакции восстанавливаются, превращаясь в молекулы NO , а вторые окисляются, образуя молекулы HNO_3 .

Составляем обычную схему перемещения электронов и по ней находим коэффициенты к формулам окислителя и восстановителя, которые в данном случае суммируются

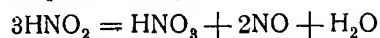


Из схемы видно, что для составления уравнения реакции надо взять три молекулы HNO_2 . Из этого количества

азотистой кислоты получаются одна молекула HNO_3 и две молекулы NO .



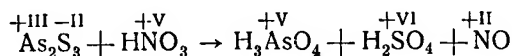
Сравнивая число атомов водорода в обеих частях этой схемы, находим, что в результате реакции должна образоваться также и одна молекула воды. Следовательно, полное уравнение реакции будет:



Наиболее сложными являются окислительно-восстановительные реакции, при которых окислению или восстановлению подвергаются одновременно атомы или ионы не одного, а двух или нескольких элементов.

Примером может служить следующая реакция:

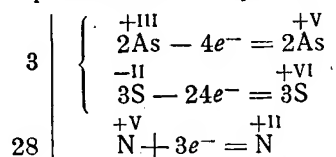
6. Окисление трехсернистого мышьяка As_2S_3 азотной кислотой:



При этой реакции одновременно окисляются мышьяк и сера, входящие в состав As_2S_3 . Валентность мышьяка повышается с $+3$ до $+5$, а валентность серы с -2 до $+6$.

Окислителем является азот азотной кислоты N , валентность которого понижается с $+5$ до $+2$ (в окиси азота).

Схема перераспределения электронов:



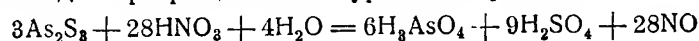
Каждая молекула As_2S_3 , т. е. два атома As и три атома S , теряют вместе 28 электронов*, а молекула HNO_3 присоединяет 3 электрона. Следовательно, на каждые три молекулы As_2S_3 расходуется двадцать восемь молекул HNO_3 . При этом, очевидно, должно образоваться шесть молекул H_3AsO_4 , девять молекул H_2SO_4 и двадцать восемь моле-

* Для безошибочного нахождения коэффициентов при составлении электронных уравнений обязательно брать столько атомов или ионов каждого элемента, сколько их содержится в молекуле окисляющего или восстанавливающего вещества.

кул NO. После подстановки найденных таким образом коэффициентов в схему реакции получаем:

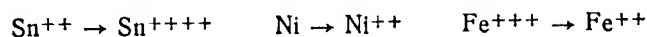
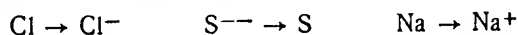


Подсчет атомов водорода в левой и правой частях схемы показывает, что в реакцию вступают еще четыре молекулы воды, которые и должны быть приписаны к левой части схемы для превращения ее в уравнение реакции

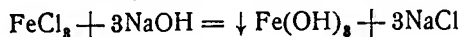
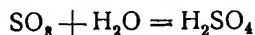
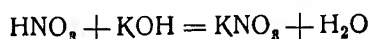


ЗАДАЧИ

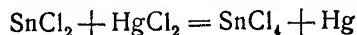
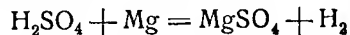
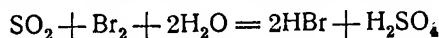
571. Какие из указанных ниже процессов представляют собой окисление и какие восстановление?



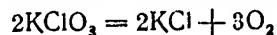
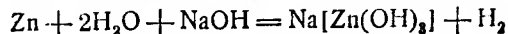
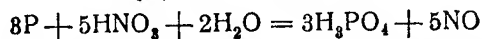
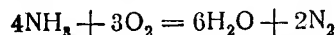
572. Укажите, какие из перечисленных ниже реакций являются окислительно-восстановительными. Ответы мотивируйте.



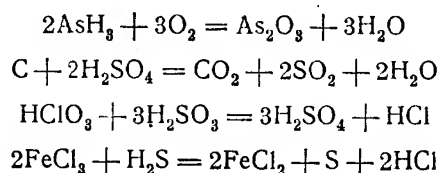
573. Для перечисленных ниже реакций укажите: а) какие элементы изменяют свою валентность в результате реакции; б) какие вещества (и какие именно из входящих в их состав элементов) являются окислителями или восстановителями.



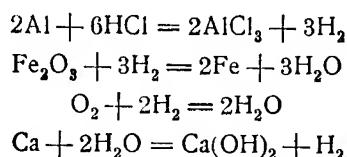
574. Разберите приведенные ниже окислительно-восстановительные реакции и для каждой из них укажите переход электронов, которым она сопровождается. Назовите окислитель и восстановитель.



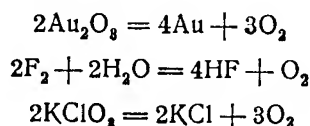
575. Составьте электронные уравнения для процессов окисления и восстановления в каждой из приведенных ниже реакций и укажите окислитель и восстановитель.



576. Составьте электронные уравнения для процессов окисления и восстановления и укажите роль атомов и роль ионов водорода в следующих реакциях:



577. Какую роль, окислителя или восстановителя, играет кислород в приведенных ниже реакциях?



Укажите переходы электронов, которыми сопровождаются эти реакции.

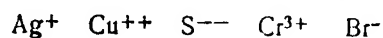
578. Руководствуясь строением атомов, решите, могут ли в каких-либо реакциях играть роль окислителя: а) атомы натрия; б) ионы натрия; в) ионы кислорода; г) атомы иода; д) ионы алюминия. Ответы мотивируйте.

579. Руководствуясь строением атомов, решите, могут ли фигурировать в качестве восстановителей следующие ионы:

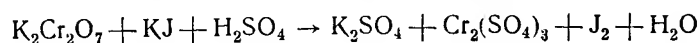
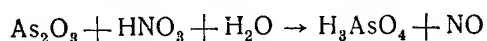
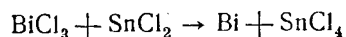
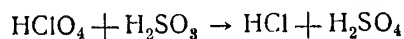


Ответы мотивируйте.

580. Какие из указанных ниже ионов могут играть при реакциях роль окислителей, а какие не могут и почему?

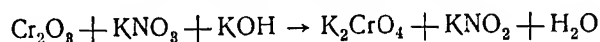
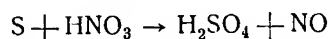
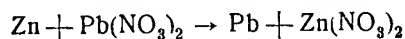


581. Составьте полные уравнения реакций, идущих по схемам:

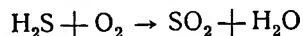
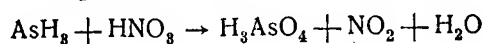
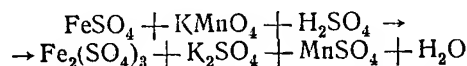


Для каждой реакции укажите: а) что окисляется и что восстанавливается; б) какое вещество (и какой именно из входящих в его состав атомов или ионов) является окислителем и какое восстановителем; в) как изменяется валентность окислителя и валентность восстановителя в результате реакции.

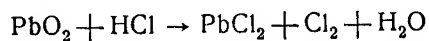
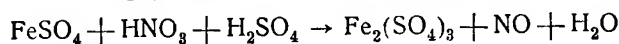
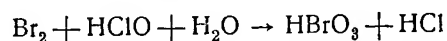
* 582. Составьте полные уравнения следующих реакций:



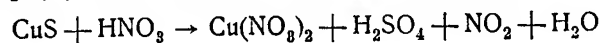
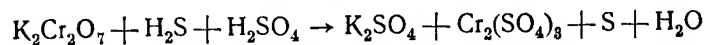
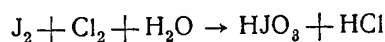
* 583. Составьте полные уравнения следующих реакций:



* 584. Составьте полные уравнения следующих реакций:

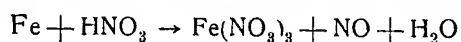
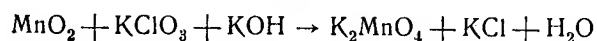
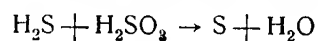


* 585. Составьте полные уравнения следующих реакций:

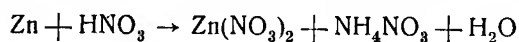
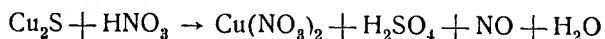
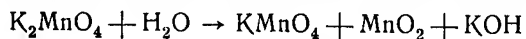


* Решая эту задачу, ответьте на все вопросы, указанные в задаче 581.

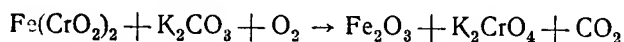
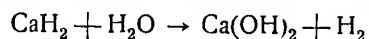
*586. Составьте полные уравнения следующих реакций:



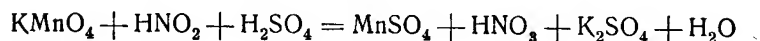
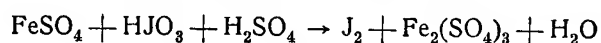
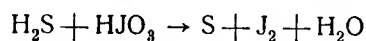
*587. Составьте полные уравнения следующих реакций:



*588. Составьте полные уравнения следующих реакций:



*589. Составьте полные уравнения следующих реакций:



* Решая эту задачу, ответьте на все вопросы, указанные в задаче 581.

ГЛАВА XVI

ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

1. Ряд напряжений

Если расположить металлы и водород в ряд по их убывающей активности (по убывающей способности отдавать электроны), то получим так называемый *ряд напряжений* металлов. Для наиболее важных металлов этот ряд имеет следующий вид:

K/K ⁺	Na/Na ⁺	Ca/Ca ²⁺	Mg/Mg ²⁺	Al/Al ³⁺	Mn/Mn ²⁺
-2,92	-2,71	-2,84	-2,38	-1,66	-1,05
	Zn/Zn ²⁺	Fe/Fe ²⁺	Ni/Ni ²⁺	Sn/Sn ²⁺	Pb/Pb ²⁺
	-0,76	-0,44	-0,23	-0,14	-0,13
H ₂ /H ⁺	Bi/Bi ³⁺	Cu/Cu ²⁺	Hg/Hg ₂ ²⁺	Ag/Ag ⁺	Au/Au ³⁺
±0	+0,28	+0,34	+0,798	+0,80	+1,42

Числа, стоящие под символами металлов, означают нормальные потенциалы металлов в вольтах, отнесенные к нормальному водородному электроду, потенциал которого принят равным нулю. Они берутся со знаком минус, если потенциал металла ниже потенциала водородного электрода, и со знаком плюс, если он выше.

Ряд напряжений дает много важных указаний относительно химического поведения металлов.

1. Каждый из металлов этого ряда «вытесняет» все следующие за ним металлы из растворов их солей, т. е. восстанавливает ионы последующих металлов в электронейтральные атомы, отдавая электроны и сам превращаясь в ионы.

2. Только металлы, стоящие в ряду напряжений левее водорода, могут «вытеснять» водород из растворов кислот (например, Zn, Fe, Sn, но не Cu, Hg).

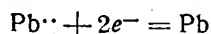
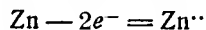
3. Чем левее в ряду напряжений стоит металл, т. е. чем ниже его потенциал, тем он активнее, тем легче он отдает электроны (окисляется) и тем труднее его ионы присоединяют обратно электроны (восстанавливаются).

2. Гальванические элементы

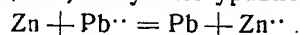
Каждые два металла, будучи погружены в растворы их солей, которые сообщаются между собой через пористую перегородку или посредством сифона, заполненного электролитом, образуют гальванический элемент. Пластины металлов, погруженные в растворы, называются электродами элемента.

Если соединить наружные концы электродов (полюсы элемента) проволокой, то от металла, у которого алгебраическая величина потенциала меньше, начинают перемещаться электроны к металлу, у которого она больше (например, от Zn к Ni, от Ni к Cu и т. д.). Уход электронов нарушает равновесие, существующее между металлом и его ионами в растворе, и вызывает переход в раствор нового количества ионов — металл постепенно растворяется. В то же время электроны, переходящие к другому металлу, разряжают у его поверхности находящиеся в растворе ионы — металл выделяется из раствора. Первый металл является отрицательным электродом элемента, второй — положительным. Отрицательный электрод в гальваническом элементе называется анодом, а положительный — катодом.

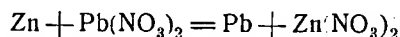
Таким образом, в замкнутом гальваническом элементе происходит взаимодействие между металлом и раствором соли другого металла, не соприкасающимися непосредственно друг с другом. Атомы первого металла, отдавая электроны, превращаются в ионы, а ионы второго металла, присоединяя электроны, превращаются в атомы. Первый металл «вытесняет» второй из раствора его соли. Например, при работе гальванического элемента, составленного из цинка и свинца, погруженных соответственно в растворы $Zn(NO_3)_2$ и $Pb(NO_3)_2$, у электродов происходят следующие процессы:



Суммируя оба процесса, получаем уравнение



выражающее происходящую в элементе реакцию в ионной форме. Молекулярное уравнение той же реакции будет иметь вид:



Электродвижущая сила гальванического элемента равна разности потенциалов двух его электродов. При определе-

нии ее всегда вычитают из большего потенциала меньший. Например, электродвижущая сила (э. д. с.) рассмотренного выше элемента

$$\text{э. д. с.} = -0,13 - (-0,76) = 0,63 \text{ вольт}$$

Такую величину она будет иметь при условии, что металлы погружены в растворы, в которых концентрации их ионов равны 1 г-ион/л. При других концентрациях растворов величины электродных потенциалов будут несколько иные. Их можно вычислить по формуле

$$E = E_0 + \frac{0,058}{n} \lg C$$

где E — искомый потенциал металла в вольтах; E_0 — его нормальный потенциал; n — валентность ионов металла; C — концентрация ионов в растворе, выраженная в граммах на литр.

Пример. Найти электродвижущую силу элемента, образованного цинковым электродом, опущенным в 0,1М раствор $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$, и свинцовым электродом, опущенным в 2М раствор $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$.

Решение. Вычисляем потенциал цинкового электрода:

$$\begin{aligned} E_{\text{Zn}} &= -0,76 + \frac{0,058}{2} \lg 0,1 = -0,76 + 0,029 \cdot (-1) = \\ &= -0,79 \text{ вольт} \end{aligned}$$

Вычисляем потенциал свинцового электрода:

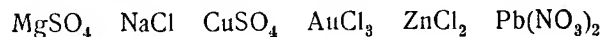
$$\begin{aligned} E_{\text{Pb}} &= -0,13 + \frac{0,058}{2} \lg 2 = -0,13 + 0,029 \cdot 0,3010 = \\ &= -0,12 \text{ вольт} \end{aligned}$$

Находим электродвижущую силу элемента:

$$\text{э. д. с.} = -0,12 - (-0,79) = 0,67 \text{ вольт}$$

ЗАДАЧИ

590. Никелевые пластинки опущены в растворы



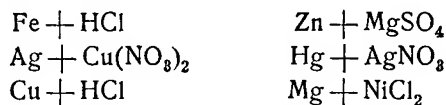
С какими солями никель будет реагировать? Напишите уравнения реакций в молекулярной и ионной форме.

591. В шесть пробирок налиты растворы



В каждую пробирку брошено по кусочку цинка. В каких пробирках произошли реакции? Выразите их молекулярными и ионными уравнениями.

592. Какие из следующих взятых попарно веществ будут взаимодействовать друг с другом?



Выразите происходящие реакции молекулярными и ионными уравнениями.

593. Между какими из следующих взятых попарно веществ произойдут реакции замещения?



Напишите ионные уравнения происходящих реакций.

594. Железная пластинка была погружена в раствор медного купороса. Когда пластинка покрылась слоем меди, ее вынули из раствора, обмыли, высушили и взвесили. Вес ее увеличился на 2 г. Сколько граммов меди выделилось на пластинке?

595. В раствор сулемы HgCl_2 опущена медная пластинка весом 50 г. По окончании реакции пластинку вынули из раствора, обмыли, высушили и взвесили. Вес ее оказался равным 52,74 г. Сколько граммов HgCl_2 было в растворе?

596. Никелевая и кадмиевая пластинки погружены в раствор серной кислоты. При соединении наружных концов пластинок проволокой у поверхности никелевой пластинки начинается выделение водорода. Можно ли отсюда заключить, какой из взятых металлов стоит левее в ряду напряжений? Выразите происходящую реакцию уравнением.

597. В каком направлении будут перемещаться электроны по проволоке, соединяющей полюсы следующих элементов:

- 1) $\text{Mg}/\text{Mg(NO}_3)_2 - \text{Pb}/\text{Pb(NO}_3)_2$
- 2) $\text{Pb}/\text{Pb(NO}_3)_2 - \text{Cu}/\text{Cu(NO}_3)_2$
- 3) $\text{Cu}/\text{Cu(NO}_3)_2 - \text{Ag}/\text{AgNO}_3$

Какой металл будет растворяться в каждом из указанных случаев?

598. Составьте два элемента, в одном из которых медь являлась бы катодом, а в другом — анодом. Напишите уравне-

ния реакций, происходящих при работе этих элементов, и укажите приблизительные величины их электродвижущих сил.

599. Гальванический элемент состоит из магниевой и железной пластинок, погруженных в молярные растворы их солей. Определите э. д. с. элемента. Какой из металлов расходуется при работе элемента? Выразите молекулярным и ионным уравнениями происходящую при этом реакцию.

600. Как осуществить реакцию вытеснения меди из раствора CuSO_4 железом, не погружая железо в этот раствор?

601. Железная пластинка, погруженная в соляную кислоту, очень медленно выделяет водород, но если прикоснуться к ней цинковой проволокой, то она тотчас покрывается пузырьками водорода. Объясните это явление. Какой металл переходит при этом в раствор?

602. Гальванический элемент состоит из серебряного электрода, погруженного в 1 М раствор AgNO_3 , и нормального водородного электрода. Какие химические процессы будут происходить у электродов этого элемента при его работе? Укажите величину его э. д. с.

603. Железная и цинковая пластинки, будучи погружены каждая в отдельности в разбавленную серную кислоту, растворяются в ней с выделением водорода. Изменится ли картина явления, если опустить их обе одновременно в сосуд с кислотой, соединив концы проволокой? Будут ли они обе растворяться? У поверхности какой пластинки будет выделяться водород? Ответ мотивируйте.

604. Два цинковых электрода погружены один в разбавленный раствор ZnSO_4 , а другой в концентрированный раствор той же соли. Растворы сообщаются друг с другом через трубку, наполненную раствором Na_2SO_4 . При соединении наружных концов электродов проволокой в ней появляется электрический ток. Объясните причину возникновения тока и выразите происходящие у электродов процессы электронными уравнениями.

605. Какие химические процессы происходят у электродов гальванического элемента, состоящего из медной и серебряной пластинок, погруженных в молярные растворы $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ и AgNO_3 ? Укажите величину э. д. с. этого элемента.

606. Рассчитайте э. д. с. элемента, образованного никелевым электродом, погруженным в 0,1 М раствор NiSO_4 , и медным электродом, погруженным в 0,2 М раствор CuSO_4 , считая диссоциацию солей полной. Выразите молекулярным и ионным уравнениями происходящую при работе элемента реакцию.

607. Какие процессы будут происходить у электродов гальванического элемента, составленного из пластинок алюминия и

серебра, погруженных: первая в 0,01 *M* раствор алюминиевой соли, а вторая — в 2 *M* раствор AgNO_3 ? Какова будет э. д. с. этого элемента, если считать, что соли диссоциированы на цело?

608. Принимая нормальный потенциал водородного электрода равным нулю, рассчитайте потенциал водородного электрода, погруженного в чистую воду.

609. Электродвижущая сила элемента, состоящего из медного и свинцового электродов, опущенных в молярные растворы соответствующих солей, равна 0,47 вольта. Изменится ли величина э. д. с., если взять 0,001 *M* растворы? Ответ подтвердите расчетом.

610. В каком направлении будут перемещаться электроны по проволоке, соединяющей полюсы элемента, состоящего из оловянного электрода, погруженного в молярный раствор SnCl_2 , и водородного электрода, погруженного в раствор, содержащий 10^{-4} граммионов водорода в литре? Какой электрод у этого элемента будет отрицательным?

3. Электролиз

Электролизом называется процесс разложения вещества электрическим током.

Сущность электролиза заключается в том, что при пропускании тока через раствор электролита (или расплавленный электролит) положительно заряженные ионы перемещаются к катоду, а отрицательно заряженные — к аноду. Достигнув электродов, ионы разряжаются, в результате чего у электродов выделяются составные части растворенного электролита или водород и кислород из воды.

Для перевода различных ионов в нейтральные атомы или группы атомов требуется различное напряжение электрического тока. Одни ионы легче теряют свои заряды, другие труднее. Степень легкости, с которой разряжаются (присоединяют электроны) ионы металлов, определяется положением металлов в ряду напряжений. Чем левее стоит металл в ряду напряжений, чем больше его отрицательный потенциал или меньше положительный потенциал, тем труднее при прочих равных условиях разряжаются его ионы. Так, из ионов металлов, стоящих в приведенном выше ряду напряжений, легче всего разряжаются ионы Au^{+++} , затем ионы Ag^+ и т. д.; труднее всего ионы K^+ .

Если в растворе одновременно находятся ионы двух или нескольких металлов, то в первую очередь разряжаются

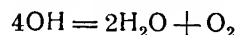
ионы того металла, у которого отрицательный потенциал меньше (или положительный — больше). Например, из раствора, содержащего ионы Zn^{++} и Cu^{++} , сперва выделяется металлическая медь. Но величина потенциала металла, как известно, изменяется в зависимости от концентрации его ионов в растворе; точно так же изменяется и легкость разряда ионов каждого металла в зависимости от их концентрации: увеличение концентрации облегчает разряд ионов, уменьшение — затрудняет. Поэтому при электролизе раствора, содержащего ионы нескольких металлов, может случиться, что выделение более активного металла будет происходить раньше, чем выделение менее активного (если концентрация ионов первого металла значительна, а второго — очень мала).

В водных растворах солей, кроме ионов соли, всегда имеются еще и ионы воды (H^+ - и OH^- -ионы). Из них ионы водорода должны были бы разряжаться легче, чем ионы всех металлов, предшествующих водороду в ряду напряжений. Однако ввиду ничтожной концентрации водородных ионов при электролизе всех солей, кроме солей наиболее активных металлов, у катода происходит выделение металлов, а не водорода. Только при электролизе солей натрия, кальция и других металлов (до алюминия включительно) разряжаются ионы водорода и выделяется водород.

У анода могут разряжаться или ионы кислотных остатков, или гидроксильные ионы воды.

Если ионы кислотных остатков не содержат кислорода (например, ионы Cl^- , S^{2-} , CN^- и др.), то обычно разряжаются именно эти ионы, а не гидроксильные, которые теряют свой заряд значительно труднее, и у анода выделяются Cl_2 , S и т. д. Наоборот, если электролизу подвергается соль кислородной кислоты или сама кислота, то разряжаются гидроксильные ионы, а не ионы кислотных остатков.

Образующиеся при разряде гидроксильных ионов нейтральные группы OH тотчас же разлагаются по уравнению



В результате у анода выделяется кислород.

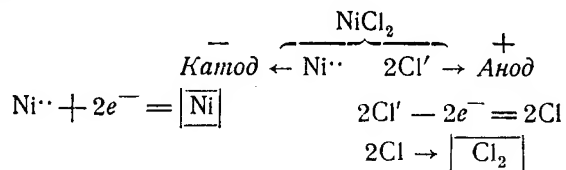
Изложенное иллюстрируется следующими примерами.

1. Электролиз раствора хлористого никеля $NiCl_2$. Раствор содержит ионы Ni^{++} и Cl^- , а также в ничтожной концентрации ионы H^+ и OH^- . При пропускании тока ионы Ni^{++} перемещаются к катоду, а ионы Cl^- —

к аноду. Принимая от катода по два электрона, ионы Ni^{++} превращаются в нейтральные атомы, выделяющиеся из раствора. Катод постепенно покрывается никелем.

Ионы хлора, достигая анода, отдают ему электроны и превращаются в атомы хлора, которые, соединяясь попарно, образуют молекулы хлора. У анода выделяется хлор.

Схематически процесс электролиза NiCl_2 можно изобразить так:

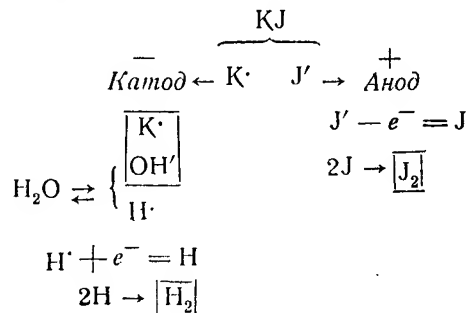


Таким образом, у катода происходит процесс восстановления, у анода — процесс окисления.

2. Электролиз раствора иодистого калия KJ . Иодистый калий находится в растворе в виде ионов K^+ и J^- . При пропускании тока ионы K^+ передвигаются к катоду, ионы J^- — к аноду. Но так как калий стоит в ряду напряжений гораздо левее водорода, то у катода разряжаются не ионы калия, а водородные ионы воды. Образующиеся при этом атомы водорода соединяются в молекулы H_2 , и таким образом у катода выделяется водород.

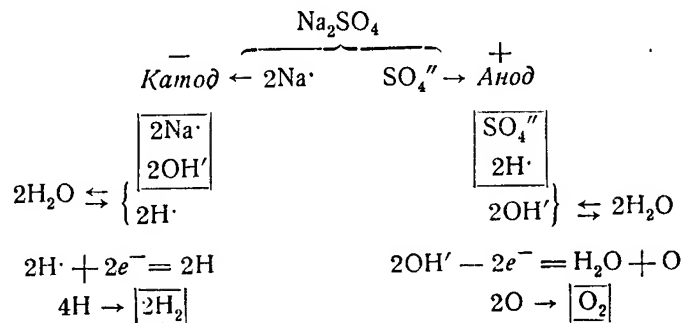
По мере разряда ионов водорода диссоциируют новые молекулы воды, вследствие чего у катода накапливаются гидроксильные ионы (освобождающиеся из молекул воды), а также ионы K^+ , непрерывно перемещающиеся к катоду. Образуется раствор KOH .

У анода происходит выделение иода, так как ионы J^- разряжаются легче, чем гидроксильные ионы воды.



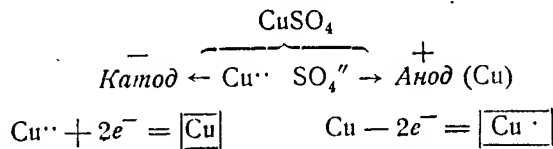
3. Электролиз раствора сернокислого натрия Na_2SO_4 . Раствор содержит ионы Na^+ , SO_4^{2-} и ионы H^+ и OH^- из воды. Так как ионы Na^+ разряжаются труднее, чем ионы H^+ , а ионы SO_4^{2-} — труднее, чем ионы OH^- , то при пропускании электрического тока у катода (как и в предыдущем случае) будут разряжаться ионы водорода, у анода — гидроксильные ионы, т. е. фактически будет происходить электролиз воды.

В то же время вследствие разряда водородных и гидроксильных ионов воды и непрерывного перемещения ионов Na^+ к катоду, а ионов SO_4^{2-} к аноду у катода образуется раствор щелочи (NaOH), а у анода — раствор кислоты (H_2SO_4).



Особым образом протекает процесс электролиза, когда анод сделан из того же металла, соль которого находится в растворе. В этом случае никакие ионы не разряжаются у анода, но сам анод постепенно растворяется, посылая в раствор ионы и отдавая электроны источнику тока.

Примером может служить электролиз раствора сернокислой меди CuSO_4 при медном аноде.



Весь процесс сводится к выделению меди на катоде и постепенному растворению анода. Количество CuSO_4 в растворе остается неизменным.

4. Законы электролиза

Процессы электролиза подчиняются законам, установленным в 30-х годах XIX века английским физиком Фарадеем.

Количество выделившегося при электролизе вещества прямо пропорционально количеству протекшего через раствор электричества (1-й закон)

$$M = K \cdot Q$$

где M — количество выделившегося вещества; K — коэффициент пропорциональности, называемый *электрохимическим эквивалентом* вещества; Q — количество протекшего электричества (в кулонах).

Из формулы следует, что электрохимический эквивалент есть то количество вещества, которое выделяется одним кулоном электричества или, что то же, током силой 1 ампер в 1 сек. *.

Равные количества электричества выделяют из различных химических соединений эквивалентные количества вещества (2-й закон).

Для выделения 1 граммэквивалента любого вещества нужно пропустить через раствор

96 500 кулонов **.

Знание последней величины дает возможность производить ряд важных расчетов, связанных с процессом электролиза, как-то: 1) вычислять количества веществ, выделяемых или разлагаемых определенным количеством электричества; 2) находить силу тока по количеству выделившегося вещества и времени, затраченному на его выделение; 3) устанавливать, сколько времени потребуется для выделения определенного количества вещества при заданной силе тока.

Пример 1. Сколько граммов меди выделится на катоде при пропускании через раствор сернокислой меди CuSO_4 тока силой 5 ампер в течение 20 мин.?

* Напомним, что сила тока измеряется количеством электричества, проходящего через поперечное сечение проводника в 1 сек. За единицу принимается такая сила тока, при которой в 1 сек. проходит 1 кулон электричества. Эта единица называется *ампером*. 1 ампер = 1 кулон/сек.

** Количество электричества, протекающее через проводник за 1 час при силе тока 1 ампер, называется *ампер-часом*. 96 500 кулонов составляют 26,8 ампер-часа.

Решение. Определяем количество протекшего через раствор электричества

$$Q = i \cdot t$$

где i — сила тока в амперах; t — время в секундах.

Согласно условию задачи $i = 5$ ампер, $t = 20$ мин., или 1200 сек., откуда

$$Q = 5 \cdot 1200 = 6000 \text{ кулонов}$$

Эквивалент меди (ат. вес 63,54) равняется $63,54 : 2 = 31,77$. Следовательно, 96 500 кулонов выделяют 31,77 г меди. Искомое количество меди

$$M = \frac{31,77 \cdot 6000}{96\,500} = 1,975 \text{ г}$$

Пример 2. Сколько времени нужно пропускать через раствор кислоты ток силой 10 ампер, чтобы получить 5,6 л водорода при 0° и 760 мм?

Решение. Находим количество электричества, которое должно пройти через раствор, чтобы из него выделилось 5,6 л водорода. Так как граммэквивалент водорода занимает при нормальных условиях объем 11,2 л, то искомое количество электричества

$$Q = \frac{96\,500 \cdot 5,6}{11,2} = 48\,250 \text{ кулонов}$$

Определяем время прохождения тока

$$t = \frac{Q}{i} = \frac{48\,250}{10} = 4825 \text{ сек.} = 1 \text{ час } 20 \text{ мин. } 25 \text{ сек.}$$

Пример 3. При пропускании тока через раствор серебряной соли на катоде выделилось за 10 мин. 1 г серебра. Определить силу тока.

Решение. Граммэквивалент серебра равен 107,9 г. Для выделения 1 г серебра через раствор должно пройти $96\,500 : 107,9 = 894$ кулона. Отсюда сила тока

$$i = \frac{894}{10 \cdot 60} \approx 1,5 \text{ ампера}$$

Пример 4. Найти эквивалент олова, зная, что при токе силой 2,5 ампера из раствора SnCl_2 за 30 мин. выделяется 2,77 г олова.

Решение. Количество электричества, прошедшее через раствор за 30 мин.

$$Q = 2,5 \cdot 30 \cdot 60 = 4500 \text{ кулонов}$$

Так как для выделения одного граммэквивалента требуется 96 500 кулонов, то эквивалент олова

$$\mathcal{E}_{\text{Sn}} = \frac{2,77 \cdot 96\,500}{4500} = 59,4.$$

ЗАДАЧИ

611. Какой металл будет выделяться в первую очередь из раствора, содержащего NiSO_4 , Ag_2SO_4 и CuSO_4 , если напряжение тока является достаточным для выделения любого из входящих в состав солей металлов?

612. Раствор содержит ионы Fe^{2+} , Hg_2^{2+} , Bi^{3+} и Pb^{2+} в одинаковой концентрации. В какой последовательности будут разряжаться эти ионы при электролизе раствора?

613. Можно ли получить любой металл путем электролиза водного раствора его соли?

614. Составьте схемы электролиза водных растворов BaCl_2 и $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$.

615. Какие окислительные и восстановительные процессы происходят при электролизе водных растворов FeCl_3 и $(\text{CaNO}_3)_2$?

616. Какие процессы протекают у катода и анода при электролизе раствора хлористого цинка ZnCl_2 , если анод угольный и если анод цинковый?

617. Одинаковы ли будут продукты, выделяющиеся из растворов K_2CO_3 и K_2SO_4 при пропускании через эти растворы электрического тока?

618. По современным данным заряд электрона равняется $1,6 \cdot 10^{-19}$ кулона. Найдите отсюда число Фарадея (фарадей).

619. Через растворы NaCl и Na_3PO_4 пропускали в течение некоторого времени ток. Изменилось ли от этого количество соли в том и другом растворе?

620. Какие химические процессы происходят у анода и катода при электролизе раствора KNO_3 , если оба электрода сделаны из цинка?

621. При электролизе сернокислой соли некоторого металла выделилось на аноде 176 мл кислорода, измеренного при нормальных условиях, а на катоде, в то же время, 1 г металла.

Удельная теплостойкость металла 0,095. Найти его атомный вес.

622. Две цинковые пластинки опущены в сосуд с раствором серной кислоты так, что они не касаются одна другой. Обе пластинки растворяются в кислоте с выделением водорода. Изменится ли картина явления, если соединить пластинки с полюсами источника тока? Дайте мотивированный ответ и ука-

жите, какие химические процессы будут происходить теперь в сосуде?

623. Составьте схему электролиза водного раствора сернокислого магния $MgSO_4$. Что окисляется и что восстанавливается при этом процессе?

624. Через раствор хлористого железа $FeCl_2$ пропускали ток силой 3 ампера в течение 10 мин., а через раствор хлорного железа $FeCl_3$ — ток силой 5 ампер в течение 6 мин. В каком из растворов выделилось больше железа? Ответ мотивируйте.

625. Через соединенные последовательно растворы $SnCl_2$ и $SnCl_4$ пропускали в течение некоторого времени электрический ток. Одинаковые ли количества олова и хлора выделились из того и другого раствора?

626. Через раствор сернокислого никеля $NiSO_4$ пропускали ток до тех пор, пока весь никель не выделился из раствора. Какие процессы происходили при этом у катода и у анода? Что представляет собой оставшаяся жидкость?

627. При пропускании одного и того же количества электричества через растворы $AgNO_3$ и $Bi(NO_3)_3$ в первом из них выделилось на катоде 0,9 г серебра. Рассчитайте, сколько граммов висмута выделилось из второго раствора.

628. При электролизе раствора азотнокислого хрома $Cr(NO_3)_3$ за 10 мин. на катоде выделилось 0,26 г хрома. Какова была сила тока?

629. Определите силу тока, выделяющего за 20 мин. из раствора серной кислоты 280 мл гремучего газа, измеренного при нормальных условиях.

630. Сколько времени потребуется для разложения 1 граммолекулы воды током силой 5 ампер?

631. Сколько времени нужно пропускать через раствор серебряной соли ток силой 3 ампера, чтобы покрыть предмет с поверхностью 80 см^2 слоем серебра толщиной 0,005 мм (уд. вес серебра 10,5)?

632. Какое количество едкого кали образуется у катода, если пропустить через раствор калиевой соли 9650 кулонов?

633. Сколько кулонов надо пропустить через раствор серебряной соли, чтобы выделить из раствора 1 г серебра?

634. Какое количество серной кислоты образуется в растворе сернокислой меди, если пропустить через него 1930 кулонов?

635. Какие процессы происходят у катода и анода при электролизе раствора никелевой соли, если оба электрода сделаны из никеля? Как изменится вес анода после пропускания тока силой 2,5 ампера в течение 1 часа?

636. Какие окислительно-восстановительные процессы протекают у электродов при электролизе раствора сернокислого кадмия CdSO_4 ? Какие вещества и в каком количестве выделяются у электродов при прохождении через раствор тока силой 4 ампера в течение 40 мин.?

637. Элемент, анодом которого является цинк, в течение 2 час. давал ток силой 0,8 ампера. Какое количество цинка при этом израсходовалось?

638. Раствор хлористого магния MgCl_2 подвергался электролизу в течение часа при силе тока 2,5 ампера. Какие ионы разряжались при этом у катода и у анода? Какие продукты и в каком количестве выделились у катода и у анода?

639. Составьте схему электролиза раствора хлористого натрия NaCl и подсчитайте, сколько кулонов электричества проходит через раствор при образовании 1 кг едкого натра.

640. Раствор иодистого бария BaI_2 подвергался электролизу в течение 15 мин. при силе тока 6 ампер. Составьте схему электролиза и подсчитайте, какие количества веществ выделились за это время из раствора.

641. Ток силой 5 ампер выделяет из раствора платиновой соли 1,517 г платины за 10 мин. Определите эквивалент платины.

642. Определите, чему равен граммэквивалент висмута, если для выделения 10 г висмута из раствора BiCl_3 надо пропустить через раствор 13 850 кулонов.

643. Определите, чему равен граммэквивалент кадмия, если для выделения 1 г кадмия из раствора кадмиевой соли надо пропустить через раствор 1717 кулонов.

644. При прохождении тока силой 1,5 ампер в течение 30 мин. через раствор соли трехвалентного металла на катоде выделилось 1,07 г металла. Определите атомный вес металла.

645. Рассчитайте электрохимический эквивалент меди (ат. вес 63,54).

646. При электролизе сульфата некоторого металла на катоде выделилось 3,49 г металла, в то время как на аноде 0,7 л кислорода. Определите точный атомный вес металла, зная, что его удельная теплоемкость 0,11.

647. Для получения бертолетовой соли подвергают электролизу горячий раствор KCl . Выразите уравнения все происходящие при этом реакции и рассчитайте, сколько получится бертолетовой соли, если пропустить через раствор 193 000 кулонов. Выход соли примите равным 60%.

648. Рассчитайте электрохимический эквивалент серебра (ат. вес 107,88).

ГЛАВА XVII

СПЛАВЫ

Сплавы металлов представляют собой или тесные смеси кристаллов металлов, или (если сплавляемые металлы вступают в химическое соединение друг с другом) смеси свободных металлов с химическими соединениями металлов друг с другом.

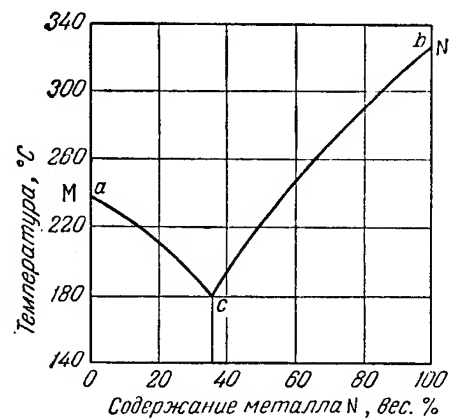


Рис. 3.

Твердые сплавы часто бывают совершенно однородны: в таком случае они представляют собой или определенное химическое соединение, или однородную смесь неопределенного состава, называемую твердым раствором.

Установление природы сплавов чаще всего производится с помощью термического анализа, основы которого были заложены в 60-х годах прошлого столетия русским ученым-металлургом Д. А. Черновым. Сущность термического анализа сводится к построению кривых или диаграмм плавкости, выражающих зависимость температур плавления сплавов от процентного содержания в них составных частей.

Если два металла М и N не образуют при сплавлении химических соединений, то диаграмма плавкости имеет в общем случае вид, изображенный на рис. 3. Точка а показывает температуру плавления чистого металла М. По мере прибавления к нему металла N температура плавления сперва понижается, а затем, при дальнейшем увеличении содержания металла N в сплаве, снова растет, пока

не достигнет точки b , отвечающей температуре плавления чистого металла N .

Кривая acb показывает, что из всех сплавов, какие могут образовывать металлы M и N , самую низкую температуру плавления имеет сплав, состав которого соответствует точке c (в данном случае он содержит 37% металла N и, следовательно, 63% металла M). Такой сплав с самой низкой температурой плавления называется *эвтектикой*, температура, при которой он плавится, — *эвтектической температурой*, а точка c на кривой плавкости, соответствующая этой температуре, — *эвтектической точкой*.

При охлаждении жидкого сплава, имеющего иной состав, чем эвтектика, из него будет выделяться в виде твердой фазы тот металл, содержание которого в сплаве превышает его содержание в эвтектике (например, при охлаждении сплава, содержащего 70% металла N , сперва будет выделяться этот металл). По мере выделения металла N температура будет падать, а остающаяся жидкая часть сплава постепенно будет приближаться по составу к эвтектике. Когда состав жидкой части сплава достигнет состава эвтектики, а температура — эвтектической температуры, вся жидкая часть сплава затвердеет как одно целое, образовав смесь мельчайших кристалликов обоих металлов, тесно перемешанных друг с другом. Поэтому все сплавы, имеющие состав, отличный от состава эвтектики, в твердом виде представляют собой сплошную массу эвтектики, в которую вкраплены более крупные кристаллы одного из металлов, выделяющегося первым при затвердевании сплава.

Если сплавляемые металлы M и N вступают в химическое соединение друг с другом, причем образуют только одно соединение, то диаграмма плавкости имеет характер, показанный на рис. 4. Здесь две эвтектические точки: c_1 и

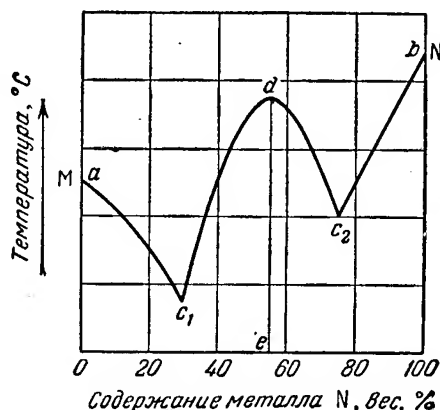


Рис. 4.

c_2 . Высшая точка кривой (максимум) d соответствует температуре плавления химического соединения, образуемого металлами М и N, а точка e на оси абсцисс указывает его состав.

Перпендикуляр, опущенный из точки d на ось абсцисс, делит всю площадь диаграммы на две части, которые можно рассматривать как две самостоятельные диаграммы. Левая половина кривой представляет собой кривую плавкости металла М и химического соединения, образуемого обоими металлами, правая — кривую плавкости того же химического соединения и металла N. При температуре, отвечающей точке c_1 , из сплава выделяется эвтектическая смесь металла М и химического соединения сплавляемых металлов; при температуре, отвечающей точке c_2 , — эвтектическая смесь того же химического соединения и металла N.

Если два металла образуют при сплавлении несколько химических соединений, то на кривой плавкости получается столько же максимумов, определяющих состав этих соединений.

Диаграммы плавкости позволяют решать ряд вопросов, касающихся природы сплавов: устанавливать строение сплавов, число и состав соединений, образуемых сплавляемыми металлами, состав эвтектики и др.

Пример 1. Имеется 400 г сплава олова со свинцом, содержащего 30 % Sn и 70 % Pb. Какой из этих металлов и в каком количестве находится в сплаве в виде кристаллов, вкрапленных в эвтектику, если последняя имеет следующий состав: 64 % Sn и 36 % Pb?

Решение. Вычисляем, сколько граммов каждого из металлов содержится в 400 г сплава:

$$400 \cdot 0,30 = 120 \text{ г Sn}$$

$$400 \cdot 0,70 = 280 \text{ г Pb}$$

Так как процентное содержание олова в сплаве меньше, чем его содержание в эвтектике, то, очевидно, все олово входит в состав эвтектики. Исходя из этого, определяем вес эвтектики:

$$120 : x = 64 : 100$$

$$x = \frac{120 \cdot 100}{64} = 187,5 \text{ г}$$

Остальная часть сплава представляет собой кристаллы свинца, вкрапленные в эвтектику. Вес их равен

$$400 - 187,5 = 212,5 \text{ г}$$

Пример 2. При сплавлении олова с магнием образуется интерметаллическое соединение Mg_2Sn . В какой пропорции нужно сплавить указанные металлы, чтобы полученный сплав содержал 20% свободного магния?

Решение. Определяем процентное содержание магния и олова в Mg_2Sn . Получаем: 28,7% Mg, 71,3% Sn.

Согласно условию задачи в 100 г сплава должно содержаться 20 г Mg и 80 г Mg_2Sn . Вычисляем, сколько граммов каждого из металлов входит в состав 80 г Mg_2Sn :

$$80 \cdot 0,287 = 23 \text{ г Mg}$$

$$80 \cdot 0,713 = 57 \text{ г Sn}$$

Следовательно, для приготовления 100 г сплава указанного в задаче состава на 57 г олова надо взять $23 + 20 = 43$ г магния, т. е. олово и магний должны быть взяты в весовом отношении 57 : 43.

ЗАДАЧИ

649. По диаграмме плавкости системы Cd—Bi (рис. 5) определите, который из этих металлов и при какой температуре

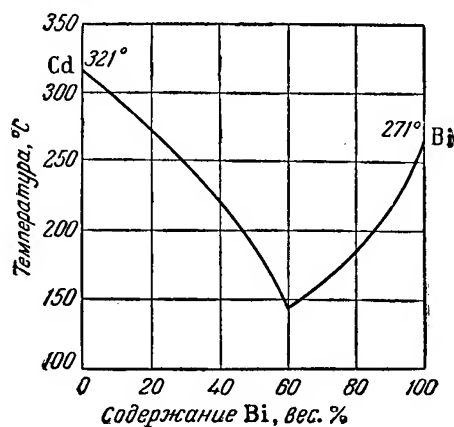


Рис. 5.

начнет выделяться первым при охлаждении жидких сплавов следующего состава:

а) 20% Bi и 80% Cd б) 60% Bi и 40% Cd

в) 70% Bi и 30% Cd

650. Какой металл будет выделяться при охлаждении жидкого сплава меди и алюминия, содержащего 25% меди, если эвтектика отвечает составу: 67,5% алюминия и 32,5% меди? Сколько граммов этого металла можно выделить из 200 г сплава?

651. При охлаждении 500 г жидкого сплава меди с серебром, содержащего 77,6% Ag, из него выделилось до момента образования эвтектики 100 г чистого серебра. Определите процентный состав эвтектики.

652. Сплав олова со свинцом содержит 73% олова и 27% свинца. Сколько граммов эвтектики содержится в 1 кг твердого сплава, если эвтектика имеет состав: 64% олова и 36% свинца?

653. Серебряные монеты обыкновенно чеканятся из сплава, содержащего равные весовые количества меди и серебра. Сколько граммов меди содержится в 200 г такого сплава в виде кристаллов, вкрапленных в эвтектику, если последняя имеет состав: 28% меди и 72% серебра?

654. По диаграмме плавкости системы Mg—Sb (рис. 6) установите формулу интерметаллического соединения, образуе-

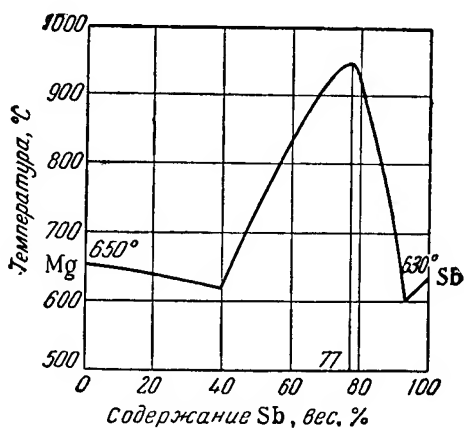


Рис. 6.

мого этими металлами. Каков будет состав твердой фазы, которая выделяется первой при охлаждении жидкого сплава, содержащего 60% сурьмы? Что будет представлять собой затвердевший сплав?

655. По диаграмме плавкости системы Cu—Mg (рис. 7) найдите формулы интерметаллических соединений, образуемых этими металлами.

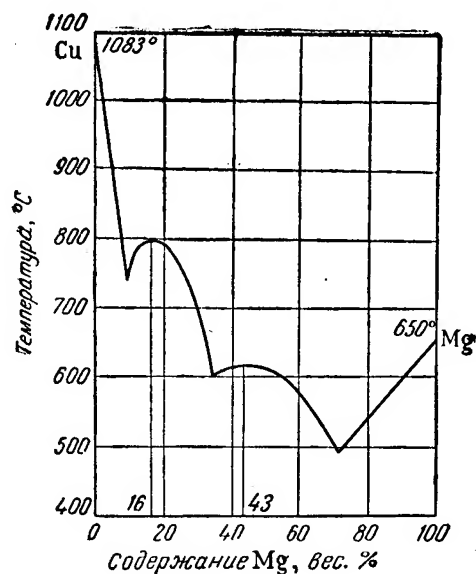


Рис. 7.

656. При сплавлении магния и свинца образуется интерметаллическое соединение, содержащее 81% свинца. Установите формулу соединения и рассчитайте, сколько граммов этого соединения содержится в 1 кг сплава, образованного равными весовыми количествами магния и свинца.

ГЛАВА XVIII
СВОЙСТВА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ
И ИХ СОЕДИНЕНИЙ

ЗАДАЧИ

1. Водород. Инертные газы

657. Как получают водород в технике и в лабораториях? Составьте уравнения реакции получения водорода различными способами и разберите их с точки зрения окисления-восстановления, указав для каждой реакции: а) что окисляется и что восстанавливается; б) какое вещество является окислителем и какое восстановителем.

658. Чем обычно является водород при его взаимодействиях с другими веществами, окислителем или восстановителем? Одинаковы ли в этом отношении свойства атомов (молекул) водорода и свойства ионов водорода? Приведите примеры реакций, иллюстрирующих ваш ответ.

659. Как получается атомарный водород? Чем он отличается по своим свойствам от молекулярного водорода? Почему пламя атомарного водорода имеет гораздо более высокую температуру, чем пламя молекулярного водорода?

660. Составьте уравнение реакции, происходящей при получении водорода железо-паровым способом. Почему эта реакция, несмотря на ее обратимость, практически идет до полного превращения железа в окалину? Укажите главные области применения водорода.

661. Какие из перечисленных ниже металлов могут быть использованы для получения водорода из соляной кислоты:

Cu Al Fe Mg Hg

Какой из них при одном и том же весе вытеснит наибольшее количество водорода?

662. Как получают гидриды металлов? Составьте уравнения реакций: а) получения гидрида кальция; б) взаимодействия гидрида кальция с водой. Укажите, какое вещество является

окислителем и какое восстановителем, что окисляется и что восстанавливается в том и другом случае.

663. Для наполнения аэростатов водородом в полевых условиях иногда пользуются действием гидрида кальция на воду. Сколько килограммов гидрида придется израсходовать для наполнения аэростата объемом 560 м^3 (считая условия нормальными)? Сколько потребовалось бы для той же цели цинка и серной кислоты?

664. Дайте краткую характеристику инертных газов, указав: а) их положение в периодической системе; б) строение их атомов; в) основное отличие их от всех других элементов; г) число атомов в молекулах инертных газов.

665. Гелий в два раза тяжелее водорода. Рассчитайте, какой груз, включая вес оболочки, может поднять аэростат, вмещающий 1000 м^3 газа: а) если он наполнен водородом; б) если он наполнен гелием. Сравните подъемные силы водорода и гелия.

666. Укажите технические применения неона. Сколько весит 1 л неона при нормальных условиях? Какова его плотность по воздуху?

2. Галогены

667. Назовите важнейшие природные соединения галогенов. В виде каких ионов обычно встречаются галогены в природе? Укажите общий принцип получения галогенов из их природных соединений и иллюстрируйте его уравнением реакции получения брома из NaBr .

668. Дайте сравнительную характеристику химических свойств галогенов, указав: а) строение их атомов; б) проявляемые каждым из них валентности; в) формулы водородных соединений и изменение их термической устойчивости с увеличением порядкового номера галогена.

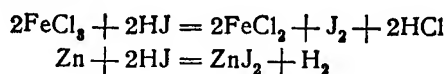
Как изменяются окислительно-восстановительные свойства галогенов с увеличением порядкового номера? Какова причина этого изменения?

669. Укажите способы получения и физические свойства галогеноводородов. Какой из галогеноводородов имеет наиболее важное практическое значение? Как изменяются восстановительные свойства галогеноводородов с увеличением порядкового номера галогена? Могут ли галогеноводороды при каких-либо реакциях играть роль окислителей? Мотивируйте ответ.

670. Чем отличаются атомы (или молекулы) галогенов от отрицательно заряженных ионов галогенов в отношении окисли-

тельно-восстановительных свойств? Как изменяются эти свойства у тех и у других с увеличением порядкового номера галогена? Какова причина этого изменения?

671. Разберите с точки зрения окисления-восстановления следующие реакции:



Одинакова ли роль иодистоводородной кислоты в той и другой реакции? Какое вещество является восстановителем в первой реакции и какое во второй?

672. Укажите названия и формулы кислородных кислот хлора и их кальциевых солей. Как изменяются их окислительные свойства с увеличением валентности хлора? Какая реакция обычно является исходной при получении кислородных соединений хлора?

673. Как получить хлорную известь, исходя из CaCO_3 и NaCl и имея возможность воспользоваться электрическим током? Укажите все химические реакции, которые необходимо осуществить в процессе получения хлорной извести из указанных выше веществ. Какие при этом получаются побочные продукты?

674. Укажите формулу, химическое название и практическое применение бертолетовой соли. Как получить бертолетову соль, имея металлический калий, соляную кислоту, двуокись марганца и воду? Составьте уравнения всех необходимых реакций. Как определить, не содержит ли данный образец бертолетовой соли примеси KCl ?

675. Составьте уравнения реакций, которые необходимо осуществить для получения бертолетовой соли, если в качестве исходных продуктов можно воспользоваться только следующими веществами: соляной кислотой, едким кали, двуокисью марганца и водой. Рассчитайте, какое количество бертолетовой соли можно получить из 168 г KOH .

676. Путем каких реакций можно получить бром, имея в своем распоряжении бромистый натрий, соляную кислоту и двуокись марганца? Составьте уравнения этих реакций и укажите для каждой из них окислитель и восстановитель.

677. Как получить хлор из хлористого кальция, не прибегая к электролизу? Составьте уравнения необходимых реакций и рассчитайте, сколько литров хлора, приведенного к 0° и 760 мм, можно получить из 1 кг CaCl_2 .

678. Через раствор иодистого калия в течение продолжительного времени пропускали струю хлора, а затем испытали

раствор на присутствие свободного иода крахмалом. Однако посинения крахмала не обнаружилось. Чем это можно объяснить? Выразите происшедшую реакцию уравнением.

679. Как получить иодноватую кислоту, исходя из двуокиси марганца, соляной кислоты и свободного иода? Составьте уравнения реакций, которые придется при этом осуществить.

680. Один из лабораторных способов получения хлора состоит в действии соляной кислоты на хлорную известь. Объясните происходящую реакцию с точки зрения окисления-восстановления. Сколько литров хлора, приведенных к 0° и 760 мм, можно получить таким путем из 1 кг хлорной извести, содержащей 42,9% гипохлорита кальция?

3. Элементы группы кислорода

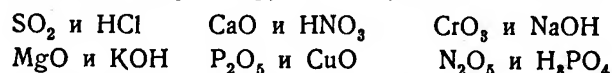
681. Дайте краткую характеристику кислорода, указав: а) распространение кислорода в природе и его содержание в воздухе; б) положение в периодической системе, строение атома; в) обоснование окислительной способности. Какие элементы не соединяются непосредственно с кислородом и какие совсем не соединяются с ним?

682. На какие группы подразделяются окислы? Укажите основные признаки каждой группы окислов и подтвердите ответ примерами соответствующих реакций.

683. После озонирования некоторого объема кислорода было установлено, что объем газа уменьшился на 500 мл. Сколько миллилитров озона образовалось? Каково количество энергии поглотилось при его образовании? Какой объем кислорода был израсходован на образование озона?

684. Укажите лабораторные и технические способы получения кислорода. В каком виде находится кислород в стальных баллонах, — в жидком или газообразном? Каковы важнейшие практические применения кислорода?

685. Какие из следующих взятых попарно веществ будут взаимодействовать друг с другом с образованием солей:



Выразите происходящие реакции уравнениями.

686. К 150 г раствора перекиси водорода прибавили немного двуокиси марганца. Выделившийся кислород измерили; объем его после приведения к нормальным условиям оказался равен 1 л. Сколько процентов перекиси водорода содержал раствор?

687. Какие соединения называются перекисями? Как получить из них перекись водорода? Составьте уравнение реакции окисления $\text{Fe}(\text{OH})_2$ в $\text{Fe}(\text{OH})_3$ перекисью водорода и укажите, какой ион является в этом случае окислителем и какой восстановителем.

688. Выразите ионным уравнением реакцию гидролиза перекиси натрия. Как повлияет повышение температуры на равновесие этой реакции? Сохранит ли раствор перекиси натрия свои белящие свойства, если его прокипятить?

689. Дайте краткую химическую характеристику серы, указав: а) положение серы в периодической системе, строение ее атома, валентность в соединениях; б) окислительные свойства серы (пример реакции); в) характер окислов серы; г) характер водородного соединения серы и его окислительные или восстановительные свойства.

690. Как получить сероводород, имея цинк, серу и серную кислоту? Укажите два возможных пути его получения (уравнения реакций) и рассчитайте, сколько серы потребуется (теоретически) для получения 20 л сероводорода, измеренного при нормальных условиях.

691. Укажите основные физические и химические свойства сероводорода. Чем является сероводород, окислителем или восстановителем, при его взаимодействиях с другими веществами? Подтвердите ваш ответ, разобрав с электронной точки зрения реакции сероводорода с иодом, серной кислотой и кислородом воздуха.

692. Укажите окислительно-восстановительные свойства сернистой кислоты, иллюстрировав их уравнениями ее реакций: а) с иодом; б) с хлорноватой кислотой. Сколько литров сернистого газа SO_2 , взятого при 0° и 760 мм, надо пропустить через раствор хлорноватой кислоты, чтобы восстановить 16,9 г HClO_3 ?

693. Какие свойства, окислительные или восстановительные, проявляет сернистая кислота при ее взаимодействии: а) с магнием; б) с сероводородом; в) с иодом? Какой из входящих в ее состав ионов обуславливает эти свойства в каждом из указанных случаев?

694. Какое вещество называется в технике гипосульфитом? Напишите его формулу и правильное химическое название. Какими свойствами, окислительными или восстановительными, обладает гипосульфит? Какой ион является носителем этих свойств? Укажите способ получения и важнейшие применения гипосульфита.

695. Какие природные вещества служат исходными продуктами при получении серной кислоты как по контактному, так

и по камерному способу? Чем с химической точки зрения отличается один способ от другого? Укажите значение серной кислоты в народном хозяйстве.

696. Чем отличается действие концентрированной серной кислоты на металлы от действия разбавленной кислоты? Какой ион является окислителем в первом случае и какой во втором? Подтвердите ответ, составив уравнения реакций: а) концентрированной серной кислоты с магнием, учитывая активность магния; б) концентрированной серной кислоты с серебром; в) разбавленной серной кислоты с железом.

697. Сколько граммов серной кислоты потребуется для растворения 50 г ртути? Сколько из них пойдет на окисление ртути? Можно ли взять для растворения ртути разбавленную серную кислоту?

698. Одинаковое ли количество серной кислоты потребуется для растворения 40 г никеля, если в одном случае взять концентрированную кислоту, а в другом — разбавленную? Сколько граммов серной кислоты пойдет на окисление никеля в первом случае и сколько во втором? Какой ион будет окислять никель в первом случае и какой во втором?

699. До чего может восстанавливаться концентрированная серная кислота при взаимодействии с металлами? Покажите все возможные случаи ее восстановления, составив уравнения реакций между концентрированной серной кислотой и металлами: магнием, цинком и ртутью, приняв во внимание положение этих металлов в ряду напряжений.

700. Перечислите важнейшие кислоты, образуемые серой. Охарактеризуйте окислительно-восстановительные свойства каждой кислоты и укажите, какой из входящих в состав кислоты атомов обуславливает ее окислительные или восстановительные свойства. Дайте общие названия солей перечисленных кислот.

701. Назовите важнейшие соли серной кислоты. Для каждой из них укажите: а) химическое и техническое название; б) формулу образуемого ею кристаллогидрата; в) практическое применение.

702. Укажите основные химические свойства селенистого и теллуристого водородов. Можно ли получить селенистый водород действием азотной кислоты на селенид цинка? Ответ подтвердите уравнением реакции.

4. Элементы группы азота

703. Дайте общую характеристику элементов группы азота, указав: а) строение их атомов; б) общие для всех элементов группы значения валентностей; в) формулы водородистых соеди-

нений; г) изменение свойств с увеличением порядкового номера и причину этого изменения (исходя из строения их атомов).

704. Сколько литров аммиака, приведенного к нормальным условиям, надо растворить в литре воды для получения 10%-ного раствора? Какими свойствами обладает раствор аммиака? Чего в нем больше, молекул аммиака или ионов аммония?

705. Какое равновесие существует в водном растворе аммиака? Выразите ионным уравнением реакцию нейтрализации раствора аммиака серной кислотой. Какие ионы останутся после этого в растворе?

706. Как получают аммонийные соли? Приведите примеры реакций их получения. Перечислите характерные свойства аммонийных солей. Укажите наиболее важные из этих солей и их практическое применение.

707. Что получится в остатке после нагревания смеси эквивалентных количеств сульфата аммония и поваренной соли? Выразите происходящую реакцию уравнением.

708. Составьте ионное уравнение реакции между аммонийной солью и щелочью. Сколько литров аммиака, измеренного при нормальных условиях, можно получить, подействовав двумя литрами 1,5 н. раствора щелочи на аммонийную соль?

709. Какие кислоты образует азот? Охарактеризуйте их окислительно-восстановительные свойства. Составьте уравнения реакций между: а) концентрированной HNO_3 и ртутью; б) разбавленной HNO_3 и кальцием; в) разбавленной HNO_3 и серебром.

710. Какой метод получения азотной кислоты в настоящее время наиболее распространен? Какие природные вещества служат исходными продуктами при получении азотной кислоты по этому методу? Укажите химические реакции, в результате которых из природных веществ получается в настоящее время азотная кислота.

711. Какие соединения азота получают путем непосредственного связывания (фиксации) атмосферного азота? Укажите реакции их получения и условия протекания реакций. Почему открытие способов связывания атмосферного азота имеет такое большое значение для человечества?

712. Чем существенно отличается действие разбавленной азотной кислоты на металлы от действия соляной и разбавленной серной кислот? Какой ион является окислителем в первом случае и какой во втором? Составьте уравнения реакций взаимодействия разбавленной HNO_3 с ртутью и с кальцием, приняв во внимание положение этих металлов в ряду напряжений.

713. Какие вещества являются продуктами последовательного восстановления азотной кислоты? Какое наибольшее число элек-

тронов может присоединить атом азота $\overset{+v}{N}$ при восстановлении азотной кислоты? Составьте уравнения реакций восстановления азотной кислоты цинком: а) до N_2O ; б) до N_2 ; в) до NH_3 .

714. Составьте уравнения следующих реакций, иллюстрирующих окислительные свойства азотной кислоты: а) действие концентрированной HNO_3 на серу; б) действие разбавленной HNO_3 на свинец; в) действие разбавленной HNO_3 на магний. От чего зависит степень восстановления азотной кислоты при взаимодействии ее с различными металлами?

715. Требуется растворить кусок серебра в азотной кислоте. Какую кислоту выгоднее взять, концентрированную или разбавленную? В каком случае расход HNO_3 будет меньше?

716. Азотная кислота разлагается при нагревании с выделением двуокси азота и кислорода. Какие элементы окисляются и какие восстанавливаются при этой реакции?

717. Что представляет собой бурый газ, выделяющийся при действии концентрированной HNO_3 на металлы? Из каких молекул он состоит? Почему окраска его темнеет при повышении температуры и светлеет при ее понижении? Будет ли давление этого газа изменяться по закону Бойля — Мариотта, если подвергать его сжатию? Составьте уравнения реакций, происходящих при растворении этого газа в воде и в растворе щелочи.

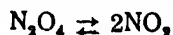
718. Как приготовить техническим путем одно из наиболее ценных азотных удобрений — азотнокислый аммоний, воспользовавшись в качестве исходных веществ только атмосферным азотом и водой? Укажите, какие химические реакции придется осуществить в процессе получения этого удобрения.

719. Назовите важнейшие азотные удобрения. Как они получают? Составьте уравнения всех реакций, которые при этом приходится осуществить.

720. Путем каких химических реакций можно получить в конечном результате азотнокислый кальций, если исходить только из веществ, широко распространенных в природе?

721. Взяты отдельно равные объемы окиси и двуокси азота при нормальном давлении и температуре 50° . Оба газа сжаты до давления 5 ат. Какой из газов занял меньший объем? Почему?

722. Четырехокись азота диссоциирует по уравнению



При 27° и нормальном давлении плотность пара N_2O_4 по водороду равняется 38,34. Какой процент молекул N_2O_4 диссоциирован?

723. Объясните, почему азотной кислотой можно воспользоваться для получения CO_2 из Na_2CO_3 , но нельзя воспользоваться для получения SO_2 из Na_2SO_3 . Ответ иллюстрируйте уравнениями реакций.

724. Почему фосфор встречается в природе только в виде соединений, тогда как его аналог азот находится в природе в свободном состоянии? Как получается свободный фосфор? Выразите уравнением происходящий при этом химический процесс и укажите, в какой его стадии происходит окисление-восстановление. Что окисляется и что восстанавливается?

725. Укажите два главных аллотропических видоизменения фосфора. Чем они отличаются одно от другого по своим свойствам? Сохраняется ли это различие после превращения их в газообразное состояние?

726. Приведите доказательства того, что красный и белый фосфор представляют собой лишь аллотропические видоизменения одного и того же элемента.

727. Как получить ортофосфорную кислоту, исходя: а) из свободного фосфора; б) из фосфорнокислого кальция? Сколько фосфора и сколько фосфорнокислого кальция потребуется для получения 250 г ортофосфорной кислоты? Можно ли назвать оба процесса окислительно-восстановительными?

728. Укажите названия и формулы аммониевых солей ортофосфорной кислоты. Почему аммиак может быть получен из них путем простого нагревания, тогда как для получения аммиака из хлористого аммония последний необходимо предварительно смешать с известью или едким натром и т. п.?

729. К раствору, содержащему 1 моль H_3PO_4 , прибавили 1 моль Na_2HPO_4 и выпарили жидкость досуха. Что представляет собой оставшееся после выпаривания вещество?

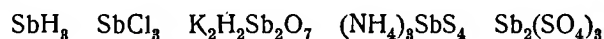
730. Назовите важнейшие природные соединения фосфора. Почему они почти не используются непосредственно в качестве удобрений, а предварительно подвергаются химической переработке? Какую цель преследует эта переработка? Что представляют собой суперфосфат и преципитат? Напишите уравнения реакций их получения.

731. Дайте краткую характеристику элементов подгруппы мышьяка, указав: а) строение их атомов; б) валентность в соединениях; в) формулы и характер их окислов и гидроокисей (для каждого элемента отдельно).

В чем проявляется усиление металлических свойств при переходе от мышьяка к сурьме и висмуту?

732. Укажите названия и формулы гидроокисей сурьмы. Каков характер этих гидроокисей? О чем свидетельствует их

растворимость в щелочах? В каких из перечисленных ниже соединений сурьма играет роль металлоида и в каких — роль металла?



733. Какие вещества должны образоваться при действии концентрированной азотной кислоты на трисульфид мышьяка? Составьте уравнение этой реакции.

734. Какое соединение мышьяка получится при действии разбавленной серной кислоты и цинка на As_2O_3 ? Составьте уравнение этой реакции и разберите ее с точки зрения окисления-восстановления.

735. Почему раствор треххлористой сурьмы SbCl_3 становится мутным при разбавлении водой? Как сделать его снова прозрачным, не фильтруя? Составьте молекулярное и ионное уравнение происходящей в том и другом случае реакции.

736. Если в подкисленный соляной кислотой раствор треххлористой сурьмы SbCl_3 опустить цинковую пластинку, то на ней выделится металлическая сурьма. Какое соединение сурьмы должно получиться наряду с металлической сурьмой при указанных условиях? Выразите происходящие процессы уравнениями.

737. Какие соединения называются тиокислотами? Чем они отличаются от обыкновенных кислородных кислот? Выразите ионными уравнениями реакции получения аммонийных солей тиомышьяковистой и тиосурьмяной кислот. Можно ли обычным путем (каким) получить из них свободные тиокислоты? Ответ подтвердите уравнениями происходящих реакций.

738. Висмут легко растворяется в азотной кислоте, но не растворяется в соляной и разбавленной серной кислотах. Какой вывод можно из этого сделать относительно положения висмута в ряду напряжений? Составьте уравнение происходящей в первом случае реакции. Можно ли очистить азотнокислый висмут путем перекристаллизации из водного раствора? Ответ мотивируйте.

5. Углерод и кремний

739. Дайте краткую характеристику углерода, указав: а) распространение углерода в природе; б) аллотропические видоизменения углерода и причину различия в их свойствах; в) строение атома углерода и его валентность в соединениях; г) образуемые им окислы и их характер.

740. Как получают угольный ангидрид в лабораториях и в технике? Из каких природных веществ он может быть полу-

чен? Укажите физические свойства угольного ангидрида, его отношение к воде и щелочам и его практические применения.

741. Почему при получении угольного ангидрида из мрамора на последний действуют соляной кислотой, а не серной? Сколько литров угольного ангидрида, приведенных к 0° и 760 мм, можно получить из 1 кг мрамора, содержащего 96% CaCO_3 ?

742. Дайте краткую характеристику угольной кислоты (получение, отношение к нагреванию, диссоциация в водном растворе). Можно ли приготовить нормальный раствор угольной кислоты? Можно ли получить нейтральный раствор, прибавив к раствору угольной кислоты строго эквивалентное количество щелочи? Ответ мотивируйте.

743. Назовите важнейшие соли угольной кислоты. Как получить соду, исходя из металлического натрия, соляной кислоты, мрамора и воды? Составьте уравнения реакций. В каких производствах применяется сода?

744. Для получения соды раствор едкого натра разделили на две равные порции, насытили одну из них углекислым газом и смешали с другой порцией. Укажите, какое вещество образовалось после насыщения первой порции. Какая реакция произошла при смешивании первой порции со второй? Выразите обе реакции уравнениями.

745. Как химическим путем можно освободить двуокись углерода от примеси сернистого газа?

746. Как получается сода по аммиачному способу? Из чего и как получают необходимые для этой реакции исходные вещества, не имеющиеся в готовом виде в природе? На каких свойствах бикарбоната натрия основано его отделение от образующегося одновременно с ним хлористого аммония?

747. Что такое поташ? Как он получается и в каких производствах применяется? Как получить поташ, имея в своем распоряжении следующие продукты: K_2SO_4 , $\text{Ba}(\text{OH})_2$, CaCO_3 и HCl . Составьте уравнения необходимых реакций.

748. Концентрированный раствор соды был насыщен углекислым газом. Выпавшие при этом кристаллы были отфильтрованы и прокалены. Что представляет собою полученный продукт? Составьте уравнения реакций.

749. Как превратить карбонат натрия в гидрокарбонат? На сколько процентов уменьшается в весе чистый гидрокарбонат натрия при прокаливании? Сколько литров углекислого газа, приведенных к 0° и 760 мм, можно получить из 210 г гидрокарбоната натрия: а) прокаливанием; б) действием кислоты?

750. Укажите главные химические свойства окиси углерода. К какому классу окислов она относится? Как получить ее

в чистом виде? Почему окись углерода способна гореть, превращаясь в углекислый газ, а водяной пар не способен гореть, хотя и существует более богатое кислородом соединение, чем вода, — перекись водорода?

751. В каких случаях при горении образуется окись углерода? Почему опасность появления угля при закрывании печей уменьшается по мере уменьшения накала углей? Назовите важнейшие виды газообразного топлива, в состав которых входит окись углерода.

752. Зная теплоты образования углекислого газа (97,7 ккал), окиси углерода (29,7 ккал) и водяного пара (57,8 ккал), докажете, что процесс получения генераторного газа должен сопровождаться выделением тепла, а процесс получения водяного газа — поглощением тепла.

753. Сколько тепла выделяется при сжигании 1 м³ светильного газа, имеющего следующий объемный состав: 50% H₂, 35% CH₄, 8% CO, 2% C₂H₄ и 5% негорючих примесей?

754. Дайте краткую характеристику кремния, указав: а) строение его атома и проявляемые им степени валентности, б) химические свойства кремния; в) формулу простейшего кремневодорода; г) характер двуокиси кремния, ее отношение к воде, кислотам и щелочам.

755. В каком виде кремний встречается в природе? Назовите важнейшие природные разновидности кремнезема. Какой из силикатов является самым распространенным в природе? Напишите в виде окислов формулы следующих силикатов: талька H₂Mg₃Si₄O₁₃; альбита Na₂Al₂Si₆O₁₈; анортита CaAl₂Si₂O₈.

756. Какие производства охватывает силикатная промышленность? Назовите важнейшие потребляемые ею природные силикаты. Как получают стекло и цемент? Что представляет собой карборунд, как он получается и для чего применяется?

757. Какие силикаты можно приготовить, имея песок, мел, соду и поташ? Укажите их названия и формулы и составьте уравнения реакций их получения из указанных веществ.

758. Как получается кварцевое стекло? Какими преимуществами оно обладает перед обыкновенным стеклом? Какую кислоту нельзя хранить ни в обыкновенной стеклянной посуде, ни в посуде из кварцевого стекла? Почему?

6. Металлы I группы периодической системы

759. Дайте краткую характеристику щелочных металлов, указав: а) положение в периодической системе и строение их атомов; б) характерные для них физические свойства; в) основное химическое свойство щелочных металлов; г) отношение к воде

и кислороду воздуха; д) образуемые щелочными металлами окислы, гидроокиси и свойства последних.

760. Почему калий и натрий получили название „щелочные металлы“? Каким их свойством обусловлено это название и в какой связи находится это свойство со строением их атомов? Укажите важнейшие природные соединения калия и натрия и их непосредственные практические применения.

761. Чем отличается электролитический способ получения щелочных металлов от электролитического способа получения едких щелочей? Какие химические процессы происходят в первом случае и какие во втором? Изобразите их уравнениями. Укажите важнейшие применения металлического натрия и едкого натра.

762. Щелочные металлы являются очень энергичными восстановителями. В какой связи со строением их атомов находится это свойство? В чем проявляется сильная восстановительная способность щелочных металлов при взаимодействии их с разбавленной азотной кислотой? При взаимодействии с водородом? Иллюстрируйте ответ уравнениями соответствующих реакций.

763. Укажите два технических способа получения едкого натра. Какие вещества являются побочными продуктами при его получении? Выразите уравнениями все химические процессы, осуществляемые при получении едкого натра тем и другим способом.

764. Как путем электролиза растворов хлористого калия получить едкое кали, гипохлорит калия, бертолетову соль? Напишите уравнения происходящих при этом химических реакций.

765. Почему едкие щелочи необходимо хранить в хорошо закупоренной посуде? Во что они в противном случае могут постепенно превратиться?

766. Какие вещества получают при насыщении растворов едкого натра: а) хлором; б) сернистым газом; в) углекислым газом; г) сероводородом? Составьте уравнения происходящих реакций.

767. Продажный едкий натр часто содержит значительную примесь соды. Как это проще всего обнаружить? Как освободить раствор едкого натра от примеси соды? Составьте уравнения соответствующих реакций.

768. При продолжительном хранении растворов едкого натра в стеклянной посуде стекло заметно разъедается. Объясните это явление и составьте уравнение происходящей реакции.

769. Чем существенно отличается взаимодействие щелочных металлов с водородом от взаимодействия галогенов с водородом? Приведите пример той и другой реакции и разберите их с точки зрения окисления-восстановления.

770. При нейтрализации сильных кислот едкий натр часто заменяют содой. Рассчитайте, сколько граммов соды потребуется для замены 100 г NaOH. Какими еще солями натрия можно было бы заменить NaOH, имея в виду только связывание ионов водорода?

771. Гидрид натрия взаимодействует с водой с выделением водорода и образованием едкого натра. Составьте уравнение реакции, укажите, какие ионы окисляются и какие восстанавливаются, и определите тепловой эффект реакции, зная, что теплота образования гидрида равна 13,1 ккал, а теплота образования едкого натра 112 ккал.

772. Укажите различие в химических свойствах щелочных металлов и металлов подгруппы меди (отношение к воздуху, воде, разбавленным кислотам; сила образуемых ими оснований; восстановительные свойства). Чем можно объяснить это различие?

773. Напишите формулы окисла, хлорида и сульфида одно- и двухвалентной меди. Как получить хлорид одновалентной меди из хлорида двухвалентной меди? Составьте уравнение реакции и укажите окислитель и восстановитель.

774. Как осуществляется электролитическое рафинирование меди? Почему при этом содержащиеся в сырой меди железо, никель, цинк, свинец, олово хотя и переходят в раствор, но не выделяются на катоде? Изобразите уравнениями процессы, происходящие у анода и у катода. Рассчитайте, сколько времени потребуется для получения 1 кг чистой меди при силе тока 200 ампер.

775. Почти все нерастворимые в воде соединения меди легко растворяются в водном аммиаке и растворах цианистых солей щелочных металлов вследствие образования комплексных соединений. Выразите ионными уравнениями реакции растворения CuCl_2 , $\text{Cu}_3(\text{PO}_4)_2$, CuHAsO_4 в аммиаке и в растворе цианистого калия, имея в виду, что координационное число одновалентной меди равно двум, а двухвалентной — четырем.

776. Если аммиачный раствор гидрата окиси меди сильно разбавить водой, то образуется осадок гидрата окиси меди. Объясните это явление, приняв во внимание существующие в растворе равновесия.

777. Чем можно объяснить, что при действии хлористого натрия NaCl на раствор комплексной соли $\text{K}[\text{Ag}(\text{CN})_2]$ не получается осадка AgCl, тогда как Na_2S с тем же раствором дает осадок Ag_2S ? Выразите последнюю реакцию ионным уравнением.

778. Для определения содержания серебра в серебряной монете кусочек монеты весом 0,3 г был растворен в азотной кислоте и из полученного раствора серебро осаждено при

помощи соляной кислоты. Вес осадка после промывания и высушивания оказался равным 0,199 г. Рассчитайте, сколько процентов серебра содержала монета.

7. Металлы II группы периодической системы

779. Охарактеризуйте вкратце щелочноземельные металлы, указав: а) происхождение названия „щелочноземельные металлы“; б) строение их атомов и валентность в соединениях; в) химическую активность металлов, их отношение к воде и к воздуху; г) характер образуемых ими окисей и гидроокисей.

Могут ли ионы щелочноземельных металлов при каких-либо реакциях играть роль восстановителей? Ответ мотивируйте.

780. Во что превращается кальций при сгорании на воздухе? Почему при смачивании полученного продукта водой наблюдается выделение значительного количества тепла и ощущается запах аммиака? Какие химические реакции при этом происходят?

781. Как получается негашеная известь? В чем заключается процесс гашения извести? Выразите происходящие реакции уравнениями и рассчитайте, сколько тепла выделяется при гашении 1 кг извести, зная, что теплота образования гашеной извести из элементов равна 235,5 ккал, а CaO равна 152,1 ккал.

782. Почему известь при продолжительном хранении на воздухе утрачивает свои свойства? Выразите происходящие с ней изменения уравнениями.

783. Какие соединения металлов II группы широко применяются в строительном деле в качестве вяжущих материалов? Как они получают и чем обуславливаются их вяжущие свойства? Иллюстрируйте ответ уравнениями соответствующих реакций.

784. При растворении в кислоте 5 г извести, содержащей примесь CaCO_3 , выделилось 140 мл газа, измеренного при нормальных условиях. Сколько процентов CaCO_3 содержала известь?

785. Гидрид кальция горит в воздухе, а с водой взаимодействует с выделением водорода. Выразите уравнениями происходящие при этом реакции и укажите, что окисляется и что восстанавливается в том и другом случае.

786. Как получается металлический магний и для чего он главным образом применяется? Какие из металлов II группы не могут быть получены путем электролиза водных растворов их солей? Почему? Укажите все химические процессы, которые будут происходить при электролизе водного раствора MgCl_2 .

787. Гидрат окиси магния растворяется в растворе хлористого аммония, но не растворяется в растворе хлористого натрия или калия. Вспомните условия растворения осадков и объясните указанное выше явление.

788. Дайте краткую характеристику элементов подгруппы цинка, указав: а) строение их атомов; б) валентность в соединениях; в) активность по сравнению с щелочноземельными металлами; г) образуемые ими окислы и гидроокиси и их характер; д) отношение к воде, кислотам и щелочам.

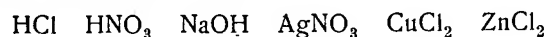
У какого из металлов подгруппы цинка слабее всего выражены металлические свойства? В чем это проявляется?

789. Укажите применяемые в металлургии способы получения цинка из его природного соединения ZnS и выразите уравнениями все химические процессы, осуществляемые при получении металлического цинка.

790. При пропускании сероводорода через раствор хлористого цинка $ZnCl_2$ выпадает лишь незначительный осадок сернистого цинка, так как вследствие растворимости ZnS в соляной кислоте реакция не идет до конца. Если же к раствору предварительно прибавить уксуснокислого натрия, то цинк полностью осаждается сероводородом в виде ZnS . Объясните это явление.

791. Металлическая ртуть часто содержит примесь так называемых „неблагородных“ металлов — цинка, олова, свинца. Для удаления их взбалтывают ртуть с насыщенным раствором сернокислой ртути $HgSO_4$. На чем основан такой способ очистки ртути? Выразите происходящие реакции уравнениями.

792. С какими из растворов перечисленных ниже веществ будет взаимодействовать ртуть?



Выразите происходящие реакции уравнениями.

793. К одному ли и тому же классу химических соединений будут относиться вещества, образующиеся из $ZnCl_2$, $CdCl_2$ и $HgCl_2$, при действии на их растворы избытка едкого натра? Выразите происходящие реакции ионными уравнениями.

794. Кусочек латуни растворили в азотной кислоте и разделили раствор на две части. К одной части прибавили избыток аммиака, а к другой — избыток щелочи. В растворе или в осадке и в виде каких соединений находятся цинк и медь после прибавления аммиака и после прибавления избытка щелочи?

8. Жесткость воды

Жесткость природной воды обуславливается присутствием в ней солей двухвалентных металлов, главным образом гидрокарбонатов и сульфатов кальция, магния, а также железа. Жесткость, обусловленная содержанием в воде

гидрокарбонатов, называется *временной* или *карбонатной* в отличие от *постоянной* жесткости, вызываемой сульфатами, хлоридами и другими солями. Сумма временной и постоянной жесткости составляет *общую* жесткость воды.

В СССР жесткость воды оценивается суммой миллиграмм-эквивалентов ионов кальция и магния, содержащихся в 1 л воды *. Если жесткость воды равна 1 *мг-экв*, это значит, что 1 л воды содержит 1 *мг-экв* ионов кальция или магния или, что то же самое, 1 *мг-экв* $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ или CaSO_4 или, соответственно, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ и MgSO_4 .

До 1952 г. жесткость воды в СССР измерялась градусами жесткости, показывающими, сколько граммов окиси кальция содержится в 100 л воды, причем содержание магния и других двухвалентных металлов пересчитывалось на эквивалентное количество CaO . В переводе на современные единицы жесткости 1 градус жесткости равняется 0,357 *мг-экв* ионов кальция или магния.

Одним из методов определения жесткости воды является титрование определенного объема воды раствором соляной кислоты известной концентрации. Применяются и весовые методы определения жесткости. Устранение жесткости сводится к удалению из воды ионов Ca^{++} и Mg^{++} обычно путем перевода их в осадок в виде нерастворимых солей.

Приведем несколько примеров вычисления жесткости воды и расчета количества реагентов, требующихся для ее устранения.

Пример 1. На титрование 100 мл воды, содержащей гидрокарбонат кальция, израсходовано 2,5 мл 0,12 н. раствора соляной кислоты. Рассчитать жесткость воды.

Решение. Исходя из данных задачи, определяем нормальность водного раствора гидрокарбоната. Обозначив нормальность раствора, т. е. число грамм-эквивалентов гидрокарбоната в литре воды, через x , составляем пропорцию:

$$100 : 2,5 = 0,12 : x \text{ или } 100x = 2,5 \cdot 0,12$$

откуда

$$x = \frac{0,3}{100} = 0,003 \text{ г-экв}$$

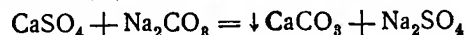
Следовательно, 1 л воды содержит 3 *мг-экв* гидрокарбоната кальция или 3 *мг-экв* ионов Ca^{++} .

Жесткость воды равна 3 *мг-экв*.

* Напомним, что миллиграмм-эквивалентом (*мг-экв*) называется количество вещества, численно равное его эквиваленту и выраженное в миллиграммах.

Пример 2. Сколько граммов соды Na_2CO_3 надо прибавить к 10 л воды, чтобы устранить ее общую жесткость, равную 4,64 мг-экв?

Решение. Из уравнений реакций



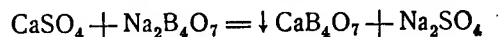
видно, что 1 грамм-молекула соды взаимодействует с 1 грамм-молекулой $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ или CaSO_4 . Переходя отсюда к миллиграмм-эквивалентам, находим, что 1 мг-экв соды взаимодействует с 1 мг-экв $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ или CaSO_4 , т. е. с 1 мг-экв ионов Ca^{++} .

Так как молекулярный вес соды равняется 106, а эквивалент ее равен половине молекулярного веса, то 1 мг-экв соды весит 53 мг. В 10 л воды содержится $4,64 \cdot 10 = 46,4$ мг-экв ионов Ca^{++} . Количество соды (x), которое потребуется для устранения жесткости, находим из пропорции

$$x : 53 = 46,4 : 1, \text{ откуда } x = 53 \cdot 46,4 = 2459,2 \text{ мг} = 2,46 \text{ г}$$

Пример 3. Вычислить постоянную жесткость воды, зная, что для удаления ионов кальция, содержащихся в 50 л этой воды, потребовалось прибавить к воде 10,8 г безводной буры.

Решение. При действии буры на воду, содержащую CaSO_4 , ионы Ca^{++} переходят в осадок вследствие реакции:



Из уравнения реакции видно, что для осаждения ионов кальция в виде CaB_4O_7 на 1 г-экв CaSO_4 , т. е. на 1 г-экв ионов Ca^{++} надо взять 1 г-экв $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ или на 1 мг-экв ионов Ca^{++} — 1 мг-экв буры.

Молекулярный вес буры 202; следовательно, 1 мг-экв ее весит 101 мг. На осаждение ионов Ca^{++} , содержащихся в 50 л воды, израсходовано 10,8 г, или 10 800 мг буры. Количество миллиграмм-эквивалентов ионов Ca^{++} в 50 л воды находим из пропорции

$$x : 1 = 10\,800 : 101, \text{ откуда } x = \frac{10\,800}{101} = 107 \text{ мг-экв}$$

Найденное количество миллиграмм-эквивалентов ионов Ca^{++} содержится в 50 л воды. Отсюда

$$\text{жесткость воды} = \frac{107}{50} = 2,14 \text{ мг-экв}$$

ЗАДАЧИ

795. Присутствие каких солей в природной воде обуславливает ее жесткость? Почему употребление жесткой воды при стирке белья вызывает большой расход мыла? Отражится ли на расходе мыла присутствие CaCl_2 в воде?

796. Почему жесткость, обусловленная присутствием в воде $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ или $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, называется временной? Какие химические реакции будут происходить: а) при кипячении жесткой воды, содержащей $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$; б) при добавлении к ней соды; в) при добавлении к ней NaOH ?

797. Как временная, так и постоянная жесткость воды может быть устранена прибавлением к воде соды. Можно ли заменить соду: а) карбонатом калия; б) гидратом окиси бария $\text{Ba}(\text{OH})_2$, хорошо растворимым в воде? Ответ подтвердите уравнениями реакций.

798. Скольким миллиграмм-эквивалентам равняется жесткость воды, если для устранения ее к 100 л воды потребовалось прибавить 15,9 г соды?

799. Введением каких ионов в природную воду можно устранить: а) временную жесткость воды, б) постоянную ее жесткость?

800. Сколько граммов гашеной извести надо прибавить к 1000 л воды, чтобы устранить ее временную жесткость, равную 2,86 мг-экв?

801. Вычислите временную жесткость воды, зная, что на реакцию с гидрокарбонатом, содержащимся в 100 мл этой воды, израсходовано 5 мл 0,1 н. раствора HCl .

802. Вода, содержащая только гидрокарбонат кальция, имеет жесткость, равную 1,785 мг-экв. Определите количество гидрокарбоната в литре этой воды.

803. Какова временная жесткость воды, в литре которой содержится 0,146 г гидрокарбоната магния?

804. Вычислите постоянную жесткость воды, зная, что для удаления ионов Ca^{++} , содержащихся в 50 л этой воды, потребовалось прибавить к воде 10,8 г безводной буры.

805. Путем анализа было установлено, что в одном литре исследуемой воды содержится 42 мг ионов Mg^{++} и 112 мг ионов Ca^{++} . Вычислите общую жесткость воды.

9. Металлы III и IV групп периодической системы

806. Дайте краткую характеристику бора, указав: а) положение его в периодической системе элементов, строение его атома и валентность в соединениях; б) характер окисла бора; в) наиболее важные соединения бора.

807. На чем основано применение буры при паянии? Выразите уравнениями химические реакции, происходящие при сплавлении буры с окислами: CuO ; Fe_2O_3 и NiO .

808. Выразите уравнениями все изменения, которые претерпевает борная кислота при нагревании. Какая соль получится при взаимодействии раствора $\text{Ba}(\text{OH})_2$ с борной кислотой?

809. Охарактеризуйте вкратце алюминий, указав: а) строение его атома; б) валентность в соединениях; в) отношение к воде, кислотам и щелочам; г) характер его окиси и гидроокиси. Какие факты свидетельствуют о слабых основных свойствах гидроокиси алюминия?

810. Из каких природных соединений получается металлический алюминий? Изобразите уравнениями процессы, происходящие у анода и у катода при его получении. Укажите важнейшие применения алюминия.

811. Для очистки боксита от примеси Fe_2O_3 боксит сплавляют с едким натром, обрабатывают сплав водой, фильтруют полученный раствор и пропускают через него углекислый газ. Образовавшийся осадок отфильтровывают и прокаливают. Выразите уравнениями все происходящие здесь реакции и укажите, в какой стадии процесса железо отделяется от алюминия.

812. Почему алюминий, находясь в ряду напряжений гораздо левее водорода, не вытесняет последний из воды, но легко вытесняет его из водного раствора щелочи? Какую роль играет щелочь в этом процессе? Изобразите уравнениями отдельные стадии процесса и рассчитайте, сколько алюминия расходуется на каждый литр получаемого водорода.

813. При действии сульфидов щелочных металлов на растворы солей алюминия получается гидрат окиси алюминия. Объясните, почему образуется гидрат окиси, а не сульфид алюминия, и составьте уравнение реакции.

814. Почему при прибавлении нескольких капель раствора алюминиевой соли к раствору щелочи не получается никакого осадка, тогда как прибавление нескольких капель раствора щелочи к раствору алюминиевой соли вызывает образование осадка? Каков его состав? Выразите уравнениями происходящие в том и другом случае реакции.

815. Как из аммонийно-алюминиевых квасцов получить: а) аммиак; б) гидрат окиси алюминия; в) сульфат бария; г) алюминат калия? Напишите уравнения соответствующих реакций в ионной форме.

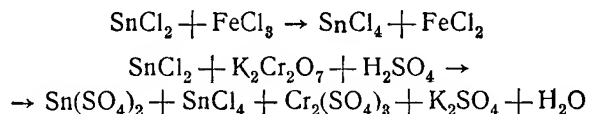
816. Чем объясняется чрезвычайное сходство химических свойств лантаноидов? Как известно, все лантаноиды помещаются

в одной клетке периодической системы. Можно ли на этом основании назвать их изотопами? Ответ мотивируйте.

817. Назовите металлы IV группы, сходные по строению атома с углеродом. Укажите образуемые ими окислы и гидроксиды и их характер. В чем проявляются у этих элементов металлоидные свойства? У какого из них они выражены сильнее?

818. Укажите важнейшие свойства металлического олова: удельный вес, точку плавления, отношение к воздуху, воде и кислотам. Почему покрытое оловом („луженое“) железо очень быстро ржавеет в местах повреждения защитного слоя?

819. Составьте уравнения реакций, идущих по схемам:



и разберите их с точки зрения окисления-восстановления. О каком свойстве ионов двухвалентного олова свидетельствуют эти реакции?

820. Как, исходя из металлического олова, получить тиосаннат натрия? Составьте молекулярные и ионные уравнения необходимых реакций. Сульфиды каких элементов легко образуют тиосоли? Как получить из тиосоли тиоангидрид соответствующей кислоты?

821. Укажите важнейшие физические константы (уд. вес и точку плавления) свинца, его отношение к воздуху, воде и кислотам. Почему свинец не растворяется в соляной и разбавленной серной кислотах, хотя и стоит в ряду напряжений левее водорода? Назовите важнейшие применения свинца.

822. Сплав свинца с оловом нагревался с концентрированной азотной кислотой до прекращения реакции. Нерастворившийся остаток был отфильтрован, высушен и прокален. Каков состав остатка? Что находится в растворе?

823. Можно ли назвать PbO_2 перекисью свинца? Мотивируйте ответ, исходя из свойств этого окисла.

824. Какие соли получатся при сплавлении двуокиси свинца: а) с окисью кальция; б) с едким натром? Укажите их названия и напишите уравнения реакций их образования. Чем является свинец в этих солях — металлом или металлоидом?

825. Почему окислы свинца Pb_2O_3 и Pb_3O_4 называются смешанными? К какому классу соединений было бы правильнее их отнести? Мотивируйте ответ, составив уравнения реакций, происходящих при действии на эти окислы разбавленной азотной кислоты.

826. Учитывая солеобразный характер окислов Pb_2O_3 и Pb_3O_4 и зная, как взаимодействует двуокись свинца с соляной кислотой, составьте уравнения реакций между двумя указанными выше окислами и соляной кислотой.

10. Металлы VI, VII и VIII групп периодической системы

827. Дайте краткую химическую характеристику хрома, указав: а) его положение в периодической системе и строение атома; б) отношение хрома к воздуху, воде и кислотам; в) окислы и гидроокиси хрома и их характер. Почему у хрома преобладают металлические свойства, тогда как находящаяся в одной группе с ним сера является типичным металлоидом?

828. Для каких соединений хрома характерны окислительные свойства? Приведите пример реакции, в которой проявились бы эти свойства. Как изменяется валентность хрома в результате таких реакций?

829. К раствору сернокислого хрома прибавили избыток раствора щелочи и к полученной жидкости добавляли по каплям бромную воду до тех пор, пока зеленая окраска жидкости не перешла в желтую. Выразите уравнениями все происходившие реакции.

830. Как приготовить хромокалиевые квасцы, исходя из бихромата калия? Составьте уравнения реакций, которые придется для этого осуществить. Сколько граммов бихромата калия потребуется для получения 1 кг квасцов?

831. Все растворимые соединения ряда окиси хрома легко окисляются в щелочных растворах в соли хромовой кислоты (хромиты переходят в хроматы). Составьте уравнения происходящих при этом реакций, взяв в качестве окислителей: а) хлор; б) перекись водорода.

832. При кипячении раствора хромита натрия, а также при прибавлении к нему раствора хлористого аммония выпадает осадок гидрата окиси хрома. Объясните причину образования осадка в том и другом случае, иллюстрировав ответ уравнениями соответствующих реакций.

833. Как получить хромовый ангидрид из хлорного хрома $CrCl_3$? Составьте уравнения реакций, которыми вы воспользовались бы для этой цели.

834. При пропускании сероводорода через подкисленный серной кислотой раствор бихромата калия оранжевая окраска раствора постепенно переходит в зеленую и в то же время выделяется сера. Объясните изменение окраски и напишите уравнение происходящей реакции.

835. Сколько литров хлора выделится при взаимодействии 1 граммолекулы бихромата натрия с избытком соляной кислоты? Какое соединение хрома при этом получится?

836. С каким из элементов третьего периода обнаруживает сходство хром: а) в соединениях, где он трехвалентен; б) в соединениях, где он шестивалентен? В чем это сходство проявляется?

837. Как получают металлы молибден и вольфрам из их соединений? Назовите важнейшие практические применения этих металлов.

838. Дайте краткую химическую характеристику марганца, указав: а) его положение в периодической системе и строение атома; б) окислы и гидроокиси марганца и их характер; в) свойства высших кислородных соединений марганца.

Приведите по одному примеру соли, отвечающей каждой из проявляемых марганцем степеней валентности.

839. Какое соединение марганца наиболее распространено в природе? Как получить его искусственным путем, исходя: а) из $MnCl_2$; б) из $KMnO_4$?

840. Как получить перманганат калия, исходя из двуокиси марганца и пользуясь в качестве окислителя бертолетовой солью? Выразите происходящие реакции уравнениями.

841. К растворам солей K_2CrO_4 , K_2SO_4 , K_2SeO_4 и K_2MnO_4 прибавлено некоторое количество серной кислоты. В каких растворах произошли реакции? Выразите их уравнениями.

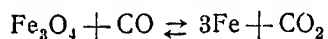
842. Какое свойство является характерным для перманганатов? Составьте уравнения реакций, происходящих при взаимодействии $KMnO_4$ с K_2S в нейтральном растворе и с KJ в сернокислом растворе.

843. Сколько граммов перманганата калия потребуется для окисления 7,6 г $FeSO_4$ в нейтральном и в кислом растворах?

844. В какой группе периодической системы находится железо? Укажите строение его атома, валентность в соединениях, отношение к воде и кислотам, образуемые им окислы и гидроокиси и их характер.

845. Какие соединения железа более устойчивы — окисные или закисные? Как превратить соль трехвалентного железа в соль двухвалентного железа и, обратно, соль двухвалентного железа в соль трехвалентного? Приведите примеры реакций.

846. При выплавке железа из магнитного железняка одна из протекающих в доменной печи реакций выражается уравнением



Определите тепловой эффект этой реакции, зная, что теплота образования Fe_3O_4 равна $261,8 \text{ ккал}$, а теплота образования

FeO равна 64,6 ккал. В какую сторону смещается равновесие этой реакции при повышении температуры?

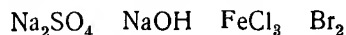
847. Какая температура должна получиться теоретически (не принимая во внимание потерь на лучеиспускание, нагревание тигля и др.) при восстановлении окиси железа алюминием, если принять среднюю удельную теплоемкость продуктов реакции равной 0,18? Теплота образования Fe_2O_3 равна 195 ккал, а теплота образования Al_2O_3 равна 393 ккал.

848. Какие факты говорят о том, что гидрат окиси железа является слабым основанием? Почему при действии соды на раствор хлорного железа FeCl_3 вместо углекислого железа получается гидрат окиси железа? Составьте уравнение происходящей реакции, разбив ее на две стадии.

849. В промышленности едкий натр иногда получают путем прокаливании безводной соды с окисью железа. При обработке полученного сплава горячей водой образуются едкий натр, переходящий в раствор, и окись железа. Учтя, что Fe_2O_3 обладает слабыми кислотными свойствами, дайте объяснение этого способа и составьте уравнения реакций, приводящих к образованию NaOH .

850. Для определения содержания FeSO_4 в растворе железного купороса 10 мл раствора отмерили в стаканчик, подкислили раствор серной кислотой и прибавляли к нему по каплям 0,02M раствор перманганата калия до тех пор, пока жидкость от одной капли не окрасилась в розовый цвет. На что указывает появление розовой окраски? Сколько молей FeSO_4 содержит литр исследуемого раствора, если для появления розовой окраски пришлось прибавить 30 мл раствора перманганата?

851. Какие ионы содержатся в растворе $\text{Ba}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$? Какие из перечисленных ниже веществ будут взаимодействовать в растворе с $\text{Ba}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$?



Выразите происходящие реакции ионными уравнениями.

852. Как получить берлинскую лазурь, имея в качестве исходных веществ: железный купорос, азотную кислоту и цианистый калий? Напишите уравнения реакций, приводящих к образованию берлинской лазури из указанных веществ.

853. Если брызги щелочи попадают на ткань, окрашенную берлинской лазурью, то на ткани появляются бурые пятна, исчезающие при смачивании их разбавленной соляной кислотой. Объясните эти явления и изобразите происходящие реакции уравнениями.

854. Раствор сернокислого кобальта CoSO_4 дает со щелочью при нагревании грязнорозовый осадок, а раствор сернокислого никеля NiSO_4 — бледнозеленый осадок. При действии брома оба осадка становятся черными. Выразите происходящие реакции уравнениями.

855. Составьте уравнения реакций, происходящих при действии серной кислоты на Ni(OH)_2 и при действии соляной кислоты на Co_2O_3 . Какие еще из известных вам окислов взаимодействуют аналогичным образом с соляной кислотой?

11. Дополнительные вопросы и задачи

856. Что представляют собой следующие широко применяемые вещества: наждак, гипс, сода, бура, селитра, поташ? Укажите их химические названия, формулы и применение.

857. Что представляют собой следующие соединения металлов, применяемые в качестве красок: мумия, цинковые белила, свинцовые белила, желтый крон, берлинская лазурь, зеленый крон, киноварь, сурик? Напишите их формулы.

858. Укажите практические применения (в свободном состоянии или в виде соединений) следующих металлов, играющих важную роль в современной технике: ванадия, молибдена, вольфрама.

859. Напишите формулы и укажите важнейшие практические применения следующих веществ: растворимого стекла, карборунда, хлорной извести, квасцов, глауберовой соли, сулемы.

860. Какие из широко распространенных металлов образуют кислотные окислы? Укажите названия и формулы соответствующих кислот и приведите примеры образуемых ими солей. Укажите, какими свойствами, окислительными или восстановительными, обладают эти кислоты.

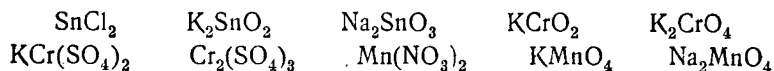
861. Укажите гидроокиси наиболее важных и распространенных металлов, обладающие амфотерными свойствами. Как проще всего практически определить, является ли данная гидроокись амфотерной? Напишите уравнения реакций, доказывающих амфотерность гидроокиси двухвалентного олова.

862. Перечислите наиболее важные многовалентные металлы. Укажите проявляемые ими валентности, формулы их солеобразующих окислов и гидроокисей и их характер. Как изменяется характер окислов и гидроокисей многовалентного металла с увеличением валентности?

863. Укажите для каждого из перечисленных ниже металлов наиболее важные природные соединения, из которых этот металл получается:

Zn , Hg , Al , Sn , Pb , Cr , Mn

864. В чем проявляются металлоидные свойства у следующих элементов, причисляемых к металлам: Sn, Cr, Mn? Укажите, в каких из перечисленных ниже солей эти элементы играют роль металлоидов и в каких — роль металлов:



865. Укажите все известные вам ионы металлов, которые могут участвовать в реакциях в качестве восстановителей. Приведите примеры реакций, в которых они проявляют восстановительные свойства.

866. Какие газы можно получить, используя следующие вещества:

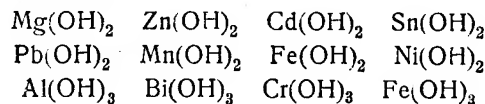


Составьте уравнения реакций получения этих газов.

867. Имеются растворы следующих веществ: NaOH, Na₂SO₃, K₂Cr₂O₇. Какими из них можно воспользоваться для поглощения SO₂, CO₂, Cl₂ и H₂S? Напишите уравнения происходящих при этом реакций.

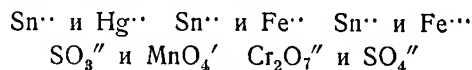
868. Приведите примеры реакций, в которых атомы водорода, азота и серы играют роль окислителей, и реакций, в которых они являются восстановителями.

869. Какие из перечисленных ниже гидроокисей будут растворяться в щелочах:



Выразите происходящие реакции уравнениями.

870. Можно ли приготовить раствор, который содержал бы одновременно следующие ионы:



Укажите, какие комбинации невозможны и почему.

Приложения

Таблица 1

Давление водяного пара при температурах от 0° до 100°
(в мм ртутного столба)

<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
0	4,58	18	15,47	40	55,16
1	4,93	19	16,47	45	71,68
3	5,69	20	17,52	50	92,35
5	6,56	21	18,63	55	117,90
7	7,53	22	19,80	60	149,32
9	8,62	23	21,03	65	187,53
10	9,22	24	22,33	70	233,8
11	9,86	25	23,71	75	289,3
12	10,53	26	25,16	80	355,4
13	11,24	27	26,68	85	433,7
14	11,99	28	28,28	90	525,8
15	12,79	29	29,96	95	633,9
16	13,63	30	31,73	100	760,0
17	14,52	35	42,04		

Таблица 2

Удельные веса водных растворов некоторых щелочей при 18°

%	KOH	NaOH	NH ₃	%	KOH	NaOH	NH ₃
4	1,033	1,046	0,983	34	1,334	1,374	0,889
6	1,048	1,069	0,973	36	1,358	1,395	0,884
8	1,065	1,092	0,967	38	1,384	1,416	—
10	1,082	1,115	0,960	40	1,411	1,437	—
12	1,100	1,137	0,958	42	1,437	1,458	—
14	1,118	1,159	0,946	44	1,460	1,478	—
16	1,137	1,181	0,939	46	1,485	1,499	—
18	1,156	1,203	0,932	48	1,511	1,519	—
20	1,176	1,225	0,926	50	1,538	1,540	—
22	1,196	1,247	0,919	52	1,564	1,560	—
24	1,217	1,268	0,913	54	1,590	1,580	—
26	1,240	1,289	0,908	56	1,616	1,601	—
28	1,263	1,310	0,903	58	—	1,622	—
30	1,286	1,332	0,898	60	—	1,643	—
32	1,310	1,352	0,893				

Таблица 3

Удельные веса водных растворов некоторых кислот при 18°

%	H ₂ SO ₄	HNO ₃	HCl	%	H ₂ SO ₄	HNO ₃
4	1,027	1,022	1,019	54	1,439	1,340
6	1,040	1,033	1,029	56	1,460	1,351
8	1,055	1,044	1,039	58	1,482	1,362
10	1,069	1,056	1,049	60	1,503	1,373
12	1,083	1,068	1,059	62	1,525	1,384
14	1,098	1,080	1,069	64	1,547	1,394
16	1,112	1,093	1,079	66	1,571	1,403
18	1,127	1,106	1,089	68	1,594	1,412
20	1,143	1,119	1,100	70	1,617	1,421
22	1,158	1,132	1,110	72	1,640	1,429
24	1,174	1,145	1,121	74	1,664	1,437
26	1,190	1,158	1,132	76	1,687	1,445
28	1,205	1,171	1,142	78	1,710	1,453
30	1,224	1,184	1,152	80	1,732	1,460
32	1,238	1,198	1,163	82	1,755	1,467
34	1,255	1,211	1,173	84	1,776	1,474
36	1,273	1,225	1,183	86	1,793	1,480
38	1,290	1,238	1,194	88	1,808	1,486
40	1,307	1,251	—	90	1,819	1,491
42	1,324	1,264	—	92	1,830	1,496
44	1,342	1,277	—	94	1,837	1,500
46	1,361	1,290	—	96	1,840	1,504
48	1,380	1,303	—	98	1,841	1,510
50	1,399	1,316	—	100	1,838	1,522
52	1,419	1,328	—			

ЛОГАРИФМЫ

Числа											Пропорциональные части								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0000	0043	0086	0128	0170	0212	0253	0294	0334	0374	4	8	12	17	21	25	29	33	37
11	0414	0453	0492	0531	0569	0607	0645	0682	0719	0755	4	8	11	15	19	23	26	30	34
12	0792	0828	0864	0899	0934	0969	1004	1038	1072	1106	3	7	10	14	17	21	25	28	31
13	1139	1173	1206	1239	1271	1303	1335	1367	1399	1430	3	6	10	13	16	19	23	26	29
14	1461	1492	1523	1553	1584	1614	1644	1673	1703	1732	3	6	9	12	15	18	21	24	27
15	1761	1790	1818	1847	1875	1903	1931	1959	1987	2014	3	6	8	11	14	17	20	22	25
16	2041	2068	2095	2122	2148	2175	2201	2227	2253	2279	3	5	8	11	13	16	18	21	24
17	2304	2330	2355	2380	2405	2430	2455	2480	2504	2529	2	5	7	10	12	15	17	20	22
18	2553	2577	2601	2625	2648	2672	2695	2718	2742	2765	2	5	7	9	12	14	16	19	21
19	2788	2810	2833	2856	2878	2900	2923	2945	2967	2989	2	4	7	9	11	13	16	18	20
20	3010	3032	3054	3075	3096	3118	3139	3160	3181	3201	2	4	6	8	11	13	15	17	19
21	3222	3243	3263	3284	3304	3324	3345	3365	3385	3404	2	4	6	8	10	12	14	16	18
22	3424	3444	3464	3483	3502	3522	3541	3560	3579	3598	2	4	6	8	10	12	14	15	17
23	3617	3636	3655	3674	3692	3711	3729	3747	3766	3784	2	4	6	7	9	11	13	15	17
24	3802	3820	3838	3856	3874	3892	3909	3927	3945	3962	2	4	5	7	9	11	12	14	16
25	3979	3997	4014	4031	4048	4065	4082	4099	4116	4133	2	3	5	7	9	10	12	14	15
26	4150	4166	4183	4200	4216	4232	4249	4265	4281	4298	2	3	5	7	8	10	11	13	15
27	4314	4330	4346	4362	4378	4393	4409	4425	4440	4456	2	3	5	6	8	9	11	13	14
28	4472	4487	4502	4518	4533	4548	4564	4579	4594	4609	2	3	5	6	8	9	11	12	14
29	4624	4639	4654	4669	4683	4698	4713	4728	4742	4757	1	3	4	6	7	9	10	12	13
30	4771	4786	4800	4814	4829	4843	4857	4871	4886	4900	1	3	4	6	7	9	10	11	13
31	4914	4928	4942	4955	4969	4983	4997	5011	5024	5038	1	3	4	6	7	8	10	11	12
32	5051	5065	5079	5092	5105	5119	5132	5145	5159	5172	1	3	4	5	7	8	9	11	12
33	5185	5198	5211	5224	5237	5250	5263	5276	5289	5302	1	3	4	5	6	8	9	10	12
34	5315	5328	5340	5253	5366	5378	5391	5403	5416	5428	1	3	4	5	6	8	9	10	11
35	5441	5453	5465	5478	5490	5502	5514	5527	5539	5551	1	2	4	5	6	7	9	10	11
36	5563	5575	5587	5599	5611	5623	5635	5647	5658	5670	1	2	4	5	6	7	8	10	11
37	5682	5694	5705	5717	5729	5740	5752	5763	5775	5786	1	2	3	5	6	7	8	9	10
38	5798	5809	5821	5832	5843	5855	5866	5877	5888	5899	1	2	3	5	6	7	8	9	10
39	5911	5922	5933	5944	5955	5966	5977	5988	5999	6010	1	2	3	4	5	7	8	9	10
40	6021	6031	6042	6053	6064	6075	6085	6096	6107	6117	1	2	3	4	5	6	8	9	10
41	6128	6138	6149	6160	6170	6180	6191	6201	6212	6222	1	2	3	4	5	6	7	8	9
42	6232	6243	6253	6263	6274	6284	6294	6304	6314	6325	1	2	3	4	5	6	7	8	9
43	6335	6345	6355	6365	6375	6385	6395	6405	6415	6425	1	2	3	4	5	6	7	8	9
44	6435	6444	6454	6464	6474	6484	6493	6503	6513	6522	1	2	3	4	5	6	7	8	9
45	6532	6542	6551	6561	6571	6580	6590	6599	6609	6618	1	2	3	4	5	6	7	8	9
46	6628	6637	6646	6656	6665	6675	6684	6693	6702	6712	1	2	3	4	5	6	7	7	8
47	6721	6730	6739	6749	6758	6767	6776	6785	6794	6803	1	2	3	4	5	5	6	7	8
48	6812	6821	6830	6839	6848	6857	6866	6875	6884	6893	1	2	3	4	4	5	6	7	8
49	6902	6911	6920	6928	6937	6946	6955	6964	6972	6981	1	2	3	4	4	5	6	7	8
50	6990	6998	7007	7016	7024	7033	7042	7050	7059	7067	1	2	3	3	4	5	6	7	8
51	7076	7084	7093	7101	7110	7118	7126	7135	7143	7152	1	2	3	3	4	5	6	7	8
52	7160	7168	7177	7185	7193	7202	7210	7218	7226	7235	1	2	2	3	4	5	6	7	7
53	7243	7251	7259	7267	7275	7284	7292	7300	7308	7316	1	2	2	3	4	5	6	6	7
54	7324	7332	7340	7348	7356	7364	7372	7380	7388	7396	1	2	2	3	4	5	6	6	7

ЛОГАРИФМЫ

Числа	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Пропорциональные части								
											1	2	3	4	5	6	7	8	9
55	7404	7412	7419	7427	7435	7443	7451	7459	7466	7474	1	2	2	3	4	5	5	6	7
56	7482	7490	7497	7505	7513	7520	7528	7536	7543	7551	1	2	2	3	4	5	5	6	7
57	7559	7566	7574	7582	7589	7597	7604	7612	7619	7627	1	2	2	3	4	5	5	6	7
58	7634	7642	7649	7657	7664	7672	7679	7686	7694	7701	1	1	2	3	4	4	5	6	7
59	7709	7716	7723	7731	7738	7745	7752	7760	7767	7774	1	1	2	3	4	4	5	6	7
60	7782	7789	7796	7803	7810	7818	7825	7832	7839	7846	1	1	2	3	4	4	5	6	6
61	7853	7860	7868	7875	7882	7889	7896	7903	7910	7917	1	1	2	3	4	4	5	6	6
62	7924	7931	7938	7945	7952	7959	7966	7973	7980	7987	1	1	2	3	3	4	5	6	6
63	7993	8000	8007	8014	8021	8028	8035	8041	8048	8055	1	1	2	3	3	4	5	5	6
64	8062	8069	8075	8082	8089	8096	8102	8109	8116	8122	1	1	2	3	3	4	5	5	6
65	8129	8136	8142	8149	8156	8162	8169	8176	8182	8189	1	1	2	3	3	4	5	5	6
66	8195	8202	8209	8215	8222	8228	8235	8241	8248	8254	1	1	2	3	3	4	5	5	6
67	8261	8267	8274	8280	8287	8293	8299	8306	8312	8319	1	1	2	3	3	4	5	5	6
68	8325	8331	8338	8344	8351	8357	8363	8370	8376	8382	1	1	2	3	3	4	4	5	6
69	8388	8395	8401	8407	8414	8420	8426	8432	8439	8445	1	1	2	2	3	4	4	5	6
70	8451	8457	8463	8470	8476	8482	8488	8494	8500	8506	1	1	2	2	3	4	4	5	6
71	8513	8519	8525	8531	8537	8543	8549	8555	8561	8567	1	1	2	2	3	4	4	5	5
72	8573	8579	8585	8591	8597	8603	8609	8615	8621	8627	1	1	2	2	3	4	4	5	5
73	8633	8639	8645	8651	8657	8663	8669	8675	8681	8686	1	1	2	2	3	4	4	5	5
74	8692	8698	8704	8710	8716	8722	8727	8733	8739	8745	1	1	2	2	3	4	4	5	5
75	8751	8756	8762	8768	8774	8779	8785	8791	8797	8802	1	1	2	2	3	3	4	5	5
76	8808	8814	8820	8825	8831	8837	8842	8848	8854	8859	1	1	2	2	3	3	4	5	5
77	8865	8871	8876	8882	8887	8893	8899	8904	8910	8915	1	1	2	2	3	3	4	4	5
78	8921	8927	8932	8938	8943	8949	8954	8960	8965	8971	1	1	2	2	3	3	4	4	5
79	8976	8982	8987	8993	8998	9004	9009	9015	9020	9025	1	1	2	2	3	3	4	4	5
80	9031	9036	9042	9047	9053	9058	9063	9069	9074	9079	1	1	2	2	3	3	4	4	5
81	9085	9090	9096	9101	9106	9112	9117	9122	9128	9133	1	1	2	2	3	3	4	4	5
82	9138	9143	9149	9154	9159	9165	9170	9175	9180	9186	1	1	2	2	3	3	4	4	5
83	9191	9196	9201	9206	9212	9217	9222	9227	9232	9238	1	1	2	2	3	3	4	4	5
84	9243	9248	9253	9258	9263	9269	9274	9279	9284	9289	1	1	2	2	3	3	4	4	5
85	9294	9299	9304	9309	9315	9320	9325	9330	9335	9340	1	1	2	2	3	3	4	4	5
86	9345	9350	9355	9360	9365	9370	9375	9380	9385	9390	1	1	2	2	3	3	4	4	5
87	9395	9400	9405	9410	9415	9420	9425	9430	9435	9440	0	1	1	2	2	3	3	4	4
88	9445	9450	9455	9460	9465	9469	9474	9479	9484	9489	0	1	1	2	2	3	3	4	4
89	9494	9499	9504	9509	9513	9518	9523	9528	9533	9538	0	1	1	2	2	3	3	4	4
90	9542	9547	9552	9557	9562	9566	9571	9576	9581	9586	0	1	1	2	2	3	3	4	4
91	9590	9595	9600	9605	9609	9614	9619	9624	9628	9633	0	1	1	2	2	3	3	4	4
92	9638	9643	9647	9652	9657	9661	9666	9671	9675	9680	0	1	1	2	2	3	3	4	4
93	9685	9689	9694	9699	9703	9708	9713	9717	9722	9727	0	1	1	2	2	3	3	4	4
94	9731	9736	9741	9745	9750	9754	9759	9763	9768	9773	0	1	1	2	2	3	3	4	4
95	9777	9782	9786	9791	9795	9800	9805	9809	9814	9818	0	1	1	2	2	3	3	4	4
96	9823	9827	9832	9836	9841	9845	9850	9854	9859	9863	0	1	1	2	2	3	3	4	4
97	9868	9872	9877	9881	9886	9890	9894	9899	9903	9908	0	1	1	2	2	3	3	4	4
98	9912	9917	9921	9926	9930	9934	9939	9943	9948	9952	0	1	1	2	2	3	3	4	4
99	9956	9961	9965	9969	9974	9978	9983	9987	9991	9996	0	1	1	2	2	3	3	4	4

ОТВЕТЫ НА ЗАДАЧИ

- | | |
|---|--|
| 1. (Fe) : (S) = 7 : 4 | 40. 444 мл |
| 63,63% Fe | 41. 4,8 л |
| 2. (Ca) : (Br) = 1 : 4; 20% Ca | 42. 39,1 |
| 3. (P) : (O) = 31 : 40 | 43. 200 мм и 600 мм |
| 43,66% P | 44. 159,6 мм |
| 4. (C) : (H) = 3 : 1; 75% C | 45. 6,825 л |
| 5. (C) : (S) = 3 : 16; 84,2% S | 46. 750 мм |
| 6. 108 г | 47. 0,4 л |
| 7. 96,15% As | 48. 34% и 66% |
| 8. (Cu) : (O) = 4 : 1 | 49. 624 мм |
| (S) : (O) = 1 : 1 | 50. Общее давление 687 мм |
| 9. 45 г | 51. COCl_2 |
| 10. (Ca) : (C) : (O) = 10 : 3 : 12 | 52. N_2O |
| 11. 9 | 53. C_3H_8 |
| 12. 17,33 | 54. Из четырех |
| 13. 12,14 | 55. $(\text{NH}_3) : (\text{Cl}_2) = 2 : 3$ |
| 14. 56,2 | 57. 2 : 5 |
| 15. $\vartheta_{\text{Br}} = 80$; $\vartheta_{\text{M}} = 9$ | 58. 8 л |
| 16. 32,69 | 59. 7,5 л |
| 17. 1,76 г | 60. 15 л |
| 18. 126,92 | 61. 44% O_2 ; 56% H_2 |
| 19. 10 л | 62. 40% NO_2 и 60% O_2 |
| 20. $\vartheta_{\text{OK}} = 24$; $\vartheta_{\text{M}} = 16$ | 63. 1 об. SO_2 ; 9 об. SO_3 ;
5,5 об. O_2 |
| 21. 19 | 64. 0,15 ат |
| 22. $\vartheta_{\text{M}} = 56,2$; $V_{\text{H}_2} = 3,36 \text{ л}$ | 65. Уменьшится на $\frac{1}{4}$
начального давления |
| 23. 54,2 | 66. Не изменится |
| 24. 45 | 67. Уменьшится на $\frac{1}{7}$
начального давления |
| 25. 3 : 5 | 68. Давление не изменилось |
| 26. 1 : 2 | Состав смеси: 60% Cl_2 ,
30% HCl , 10% H_2 |
| 27. 3 ат | 70. В 1700 раз |
| 28. 2,4 ат | 71. Кислород 22,4 л;
глицерин $\sim 73 \text{ мл}$;
вода 18 мл |
| 29. 839 мл | 72. 43,08 л |
| 30. 1800 л | 75. 33,6 л |
| 31. 22,4 л | 76. 1 : 16 : 2 |
| 32. 746 мл | 77. 5,6 м ³ CO_2 ; 11,2 м ³ H_2 ;
22,4 м ³ CH_4 |
| 33. 273° | 78. 24,04 л |
| 34. 127° | |
| 35. 797,2 мм | |
| 36. Ha 102,9 мм | |
| 37. -7° | |
| 38. 115° | |
| 39. 819 мл | |

- | | |
|--|---|
| 79. 44,6 г-мол | 146. 24,32 |
| 80. ~1 л | 147. 87,62 |
| 81. $27 \cdot 10^{18}$ | 148. 58,7 |
| 82. 0,5 г | 149. Ат. в. 114,75; валентность 3 |
| 84. Во втором в 1,08 раза | 150. 55,85 |
| 85. $3,3 \cdot 10^{19}$ | 151. 118,7 |
| 86. $7,1 \cdot 10^9$ | 152. 31 |
| 87. 0,2 ат | 154. N_2O |
| 88. 1,12 ат | 155. H_4CON_2 |
| 89. 2,24 ат | 160. $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ |
| 90. 0,541 ат (411 мм) | 161. $MgSiO_3$ |
| 91. 70 ат | 163. $C_{10}H_8$ |
| 92. 0,64 ат; 1 ат | 168. C_6H_6S |
| 93. 1,56 г | 169. C_6H_{14} |
| 94. 1,295 кг | 170. Si_2H_8 |
| 95. 1 г | 171. C_2H_6O |
| 96. 63,4 г | 172. CH_4 |
| 97. 0,214 кг | 173. C_2N_2 |
| 98. 1,54 г | 179. 7 |
| 99. 1,6 кг | 182. 5,07 |
| 100. 1,44 г | 211. 7,2 г Mg; 29,4 г H_2SO_4 |
| 101. 2,52 г, D = 1,17 | 212. Щелочную |
| 102. 517 г | 213. ~14 т |
| 103. ~73 кг | 214. 50 г |
| 107. Легче в 1,6 раза | 215. 40 г и 80 г |
| 110. 0,517 | 216. 2,5 моля |
| 111. 2,8 л | 217. 8,4 л |
| 113. 0,401 | 218. 162,5 г Zn и 1225 г кислоты |
| 114. 28 | 219. 2,8 л |
| 115. Из восьми | 220. 375 г |
| 116. Молекулы ртути
одноатомны | 221. 33,6 л |
| 117. Из четырех | 222. ~364,5 г |
| 120. 2,8; 80,9 | 223. ~146 л |
| 121. 34 | 224. 146,25 г |
| 122. 58 | 225. 56 л |
| 123. 156 | 226. 5,6 л |
| 124. 71 | 227. 11,2 м ³ |
| 125. 1 кг | 228. 2,25 м ³ |
| 126. 2,683 кг | 229. 5,25 м ³ |
| 127. 10 г | 230. 10,7 г NH_4Cl |
| 128. 820 л | 231. Образуется 28,7 г $AgCl$ |
| 129. 39,6 л | 232. Щелочную |
| 130. 936 мм | 233. 18 молей N_2 ; 14 молей H_2 |
| 131. 300 л | 234. 2 моля SO_2 ; 11 молей O_2 |
| 132. 119,5 | 235. Образовалось 0,08 моля
$Fe(OH)_3$ |
| 133. 58 | 236. ~34,3 г $CuSO_4$ |
| 134. В молекуле глюкозы
72 к. е.; в молекулах вин-
ной кислоты и пропилового
спирта по 48 к. е. | 237. 292,5 г $NaCl$ |
| 135. 72 к. е., 6 атомов | 238. 212 г Na_2CO_3 ; 222 г $CaCl_2$ |
| 136. 7 атомов | 239. ~173 г |
| 137. 3 атома | 240. 54 г |
| 144. 69,72 | 241. 94,6% |
| | 242. 4,9% |
| | 243. 81,25% |
| | 244. 5,85% |

245. 2,34 ат
246. 23,2 ккал
247. 83 ккал
248. 393 ккал
249. 14,45 ккал
250. 1,96 ккал
251. ~ 3000 ккал
252. 104,7 ккал
253. —5,8 ккал
254. 5 ккал
255. 10,2 ккал
256. 62,4 ккал
257. 34,9 ккал
258. —22 ккал
259. 1544 ккал
260. —48,6 ккал
261. 314,5 ккал
262. 9 ккал
263. 3,35 ккал
264. 284,5 ккал
265. 75,8 ккал
266. Во втором в 5,2 раза больше
267. —105,9 ккал, —21,6 ккал, + 9 ккал
287. 67,2 ат
288. 0,045 моль/л
289. 0,009 моль/л
290. $[A] = 0,24$ моль/л;
 $[B] = 0,6$ моль/л
292. Увеличится в 9 раз
293. Увеличится в 12 раз
294. Увеличится в 64 раза
295. $v_1 = 0,03$; $v_2 = 0,0072$
296. а) С одинаковой скоростью;
б) во втором сосуде в два раза быстрее
297. При 200° прибл. через 0,16 мин.; при 80° через 162,5 часа
298. $[J_2] = 0,5$ моль/л;
 $[H_2] = 0,7$ моль/л
299. $[N_2] = 5$ моль/л;
 $[H_2] = 15$ моль/л
300. $K = 1,92$; $[NO_2] = 0,3$ моль/л
301. 0,75 ат
302. Уменьшится на $\frac{1}{20}$ первоначального давления
303. 50%; 83,3%; 90,9%
304. Нет
305. 0,45
306. 83,3%
307. 1,55 моля H_2
308. $(CO_2) : (O_2) = 9:1$
309. $[CO] = 0,04$ моль/л;
 $[CO_2] = 0,02$ моль/л
313. v_1 увеличится в 8 раз;
 v_2 увеличится в 4 раза
314. В первой реакции обе скорости увеличатся одинаково. Во второй: v_1 увеличится в 8 раз; v_2 — в 4 раза
315. v_1 увеличится в 16 раз;
 v_2 увеличится в 4 раза
320. 12,5%
321. 189,1 г буры
322. 430 г
323. 5,1 г
324. 161 г
325. 6,625 г
326. 342 г
327. 12%
328. 2488 мл
329. 125 мл
330. 1900 мл
331. 62,5 мл разбавить водой до 1 л
332. 161,5 мл
333. 30,25%; 7,56 г-экв/л
334. 11,8 н.
335. 183,1 мл
336. 4 : 15
337. 250 мл
338. 10 г
339. 20 г
340. 0,25 н.
341. 24 мл; 0,3 н.
342. 170 г
343. 122,5 г
344. 45
345. 40
346. ~ 27%
347. 125 г
348. ~ 1,4 л
349. 17,5 г
350. 47,5 г
351. 45°
352. 30°
354. 8,55 л
355. 33,2%
356. 7,5 ат
357. 34,85% O_2
358. 90,2% N_2O ; 9,8% NO
359. 9,88 ккал
360. 18,5 ккал
361. ~ 9°
362. 18,6 ккал
363. 8,1°
364. 18,6 ккал
230

365. 80,1°
 367. Как 1 к 6
 368. 1,75 ат
 370. 1,26 ат
 371. 0,8 ат
 374. 0,044 г-мол
 375. 18 г
 376. 30
 377. 342
 378. 186 мм
 379. 734,7 мм
 380. 0,41 мм
 381. 52,6 г
 382. 60
 383. 93,1
 386. 0,26°
 387. ~102°
 388. -27°
 389. 1,62°
 390. 18,4 г; 65,8 г
 391. ~ 2:1
 392. ~ -10°
 393. 30
 394. 60
 395. 119,5
 396. 152
 397. 1,16°
 398. 5,2°
 399. 128
 400. S₈
 401. C₆H₈O₄
 405. 7,22·10²¹
 411. 1,86
 412. 2,48
 413. 62%
 414. 70%
 415. 39%
 416. 90%
 417. 48,4%
 418. 70%
 419. 75%
 420. 75%
 421. 1,06
 422. 4%
 423. 2,16%
 424. 4,032 ат
 425. -6,3°
 426. 89,68 мм
 427. -7,4°
 428. На 3 иона
 429. 1,8 моля
 430. 6,923·10¹⁹
 431. [K'] = 0,1 г-ион/л;
 [SO₄'] = 0,05 г-ион/л
 432. 0,18 г-ион/л

433. [Fe⁺⁺⁺] = 0,055 г-ион/л;
 [Cl'] = 0,195 г-ион/л
 434. [Cl'] = 0,18 г-ион/л;
 6,39 г/л
 435. 0,35 моль/л
 436. 0,125 моль/л
 437. 0,39 г-ион/л
 438. 0,1 н.
 439. [Mg⁺⁺] = 1,32 г-ион/л;
 [Cl'] = 2,64 г-ион/л
 440. Растворил 0,02 моля NaCl;
 0,64 моля KCl; 0,24 моля
 Na₂SO₄
 442. 5,5%
 443. 0,045%
 444. 2·10⁻⁴
 445. 3·10⁻⁷
 447. 0,01 моль/л
 448. 1,67·10⁻⁶ моль/л
 449. 900 мл
 450. 4·10⁻³ г-ион/л
 451. 1,18·10⁻² г-ион/л
 452. ~ в 42 раза
 453. 1,8·10⁻⁴ г-ион/л
 454. [Pb⁺⁺] = 1,5·10⁻³ г-ион/л
 [J'] = 3·10⁻³ г-ион/л
 455. 1,7·10⁻⁸
 456. 7,9·10⁻⁵
 457. 4·10⁻¹²
 458. 3,2·10⁻¹¹
 459. 1,35·10⁻⁸
 460. 0,013 г
 461. 6,5·10⁻⁵ г
 462. 2,6·10⁻² моль/л; 8,1 г/л
 463. ~ 117 л
 464. 4,5·10⁻²
 465. Нет
 466. ~ в 2750 раз
 467. Не образуется
 468. Образуется
 484. 2,7
 485. 3,38
 486. 11,4
 487. 10,48
 488. [H'] = 6,3·10⁻⁷ г-ион/л;
 [OH'] = 1,6·10⁻⁸ г-ион/л
 489. [H'] = 0,425 г-ион/л;
 pH = 0,37
 490. 6,02·10⁷ ионов
 491. Уменьшить в 10 раз
 492. Увеличится на 4
 493. 50 мл
 494. 5,7
 546. ~ 4 часа
 547. ~ 7,2 суток

548. 3,04 мин.; 4,38 мин.
 549. 0,0003 г
 550. 2413 лет
 551. $1,95 \cdot 10^{-3}$ мг
 553. 4740 лет
 555. 2 α - и 2 β -частицы
 556. $K \rightarrow Ca$; $Rb \rightarrow Sr$
 557. VI группа
 558. IV группа
 559. 134,4 л
 560. 206 г Pb; 112 л He
 565. 77% Cl^{35}
 566. 64% Ga^{69}
 567. 85,54
 568. 63,54
 577. Роль восстановителя
 594. 16 г
 595. 5,44 г
 599. Э. д. с. = 1,94 вольта
 602. 0,8 вольта
 603. Растворяется только Zn
 605. 0,46 вольта
 606. Э. д. с. = 0,61 вольта
 607. Э. д. с. = 2,52 вольта
 608. —0,41 вольта
 609. Не изменится
 610. Водородный электрод
 621. 63,6
 624. В первом
 627. 0,58 г
 628. 2,41 ампера
 629. 1,34 ампера
 630. 10 час. 43 мин. 20 сек.
 631. 2 мин. 5 сек.
 632. 5,6 г
 633. 894 кулона
 634. 9,8 г
 635. Уменьшится на 2,74 г
 636. $\sim 5,6$ г Cd; 0,56 л O_2
 637. 1,94 г
 638. 2,7 г $Mg(OH)_2$; 3,3 г Cl_2
 639. 2412500 кулонов
 640. $\sim 7,1$ г J_2 ; 0,627 л H_2
 641. 48,81
 642. 69,67
 643. 56,2
 644. 114,72
 645. 0,329 мг
 646. 55,84
 647. 24,5 г
 648. 1,118 мг
 650. 46,2 г
 651. 72% Ag
 652. 750 г
 653. ~ 61 г
 654. Mg_3Sb_2
 655. $MgCu_2$ и $MgCu$
 656. 617,3 г
 661. Алюминий
 663. 525 кг CaH_2 ;
 1625 кг Zn;
 2450 кг H_2SO_4
 665. а) 1,2 т; б) 1,11 т
 666. 0,9 г; $D \approx 0,7$
 675. 61,25 г $KClO_3$
 680. 134,4 л
 683. 1000 мл O_3 ; 1,52 ккал
 1500 мл O_2
 686. $\sim 2\%$
 690. 28,57 г S
 692. 13,44 л SO_2
 697. 48,76 г; 24,38 г
 698. В первом случае на окис-
 ление 132,9 г, во втором—
 66,45 г
 704. 146,4 л
 708. 67,2 л
 722. 20%
 727. 79,08 г P
 395,4 г $Ca_3(PO_4)_2$
 741. 215 л
 749. На 36,9%; 28 л; 56 л
 752. Тепловой эффект первой
 реакции 59,4 ккал, второй
 реакции—28,1 ккал
 753. 4815 ккал
 770. 132,5 г
 771. 30,5 ккал
 774. 4 час. 11 мин. 16 сек.
 778. 50%
 781. 267,8 ккал
 784. 12,5%
 798. 3 мг-экв/л
 800. 105,8 г
 801. 5 мг-экв/л
 802. 144,6 мг
 803. 2 мг-экв/л
 804. 2,14 мг-экв/л
 805. 9,1 мг-экв/л
 812. 0,8 г
 830. 294,6 г
 843. 2,63 г; 1,58 г
 846. —5 ккал
 847. 5140°
 850. 0,3 моля

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА						
ПЕРИОДЫ	РЯДЫ	ГРУППЫ				
		I	II	III	IV	V
1	I	H ¹ 1,0080				
2	II	Li ³ 6,940	Be ⁴ 9,013	B ⁵ 10,82	C ⁶ 12,011	N ⁷ 14,008
3	III	Na ¹¹ 22,991	Mg ¹² 24,32	Al ¹³ 26,98	Si ¹⁴ 28,09	P ¹⁵ 30,975
4	IV	K ¹⁹ 39,100	Ca ²⁰ 40,08	Sc ²¹ 44,96	Ti ²² 47,90	V ²³ 50,95
	V	Cu ²⁹ 63,54	Zn ³⁰ 65,38	Ga ³¹ 69,72	Ge ³² 72,60	As ³³ 74,91
5	VI	Rb ³⁷ 85,48	Sr ³⁸ 87,63	Y ³⁹ 88,92	Zr ⁴⁰ 91,22	Nb ⁴¹ 92,91
	VII	Ag ⁴⁷ 107,880	Cd ⁴⁸ 112,41	In ⁴⁹ 114,82	Sn ⁵⁰ 118,70	Sb ⁵¹ 121,76
6	VIII	Cs ⁵⁵ 132,91	Ba ⁵⁶ 137,36	La ⁵⁷ ★ 138,92	Hf ⁷² 178,50	Ta ⁷³ 180,95
	IX	Au ⁷⁹ 197,0	Hg ⁸⁰ 200,61	Tl ⁸¹ 204,39	Pb ⁸² 207,21	Bi ⁸³ 208,00
7	X	Fr ⁸⁷ [223]	Ra ⁸⁸ 226,05	Ac ⁸⁹ ★ ★ 227	(Th)	(Pa)
★ ЛАНТА						
58	59	60	61	62	63	64
Ce ² 140,13	Pr ² 140,92	Nd ² 144,27	Pm ² [145]	Sm ² 150,35	Eu ² 152,0	Gd ² 157,26
★ ★ АКТИ						
90	91	92	93	94	95	96
Th ² 232,05	Pa ² 231	U ² 238,07	Np ² [237]	Pu ² [242]	Am ² [243]	Cm ² [245]

В КВАДРАТНЫХ СКОБКАХ УКАЗАНЫ МАССОВЫЕ

ЭЛЕМЕНТОВ Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА

ЭЛЕМЕНТОВ

VI	VII	VIII			0
	(H)				He ² 4,003 ₂
⁸ O 16 ₈	⁹ F 19,00 ₉				Ne ¹⁰ 20,183 ₁₀
¹⁶ S 32,066 ₁₆	¹⁷ Cl 35,457 ₁₇				Ar ¹⁸ 39,944 ₁₈
²⁴ Cr 52,01 ₂₄	²⁵ Mn 54,94 ₂₅	²⁶ Fe 55,85 ₂₆	²⁷ Co 58,94 ₂₇	²⁸ Ni 58,71 ₂₈	
³⁴ Se 78,96 ₃₄	³⁵ Br 79,916 ₃₅				Kr ³⁶ 83,80 ₃₆
⁴² Mo 95,95 ₄₂	⁴³ Tc [99] ₄₃	⁴⁴ Ru 101,1 ₄₄	⁴⁵ Rh 102,91 ₄₅	⁴⁶ Pd 106,4 ₄₆	
⁵² Te 127,61 ₅₂	⁵³ J 126,91 ₅₃				Xe ⁵⁴ 131,30 ₅₄
⁷⁴ W 183,86 ₇₄	⁷⁵ Re 186,22 ₇₅	⁷⁶ Os 190,2 ₇₆	⁷⁷ Ir 192,2 ₇₇	⁷⁸ Pt 195,09 ₇₈	
⁸⁴ Po 210 ₈₄	⁸⁵ At [210] ₈₅				Rn ⁸⁶ 222 ₈₆
(U)					

ИИДЫ

⁶⁵ Tb 158,93 ₆₅	⁶⁶ Dy 162,51 ₆₆	⁶⁷ Ho 164,94 ₆₇	⁶⁸ Er 167,27 ₆₈	⁶⁹ Tu 168,94 ₆₉	⁷⁰ Yb 173,04 ₇₀	⁷¹ Lu 174,99 ₇₁
--	--	--	--	--	--	--

ИИДЫ

⁹⁷ Bk [249] ₉₇	⁹⁸ Cf [251] ₉₈	⁹⁹ E [254] ₉₉	¹⁰⁰ Fm [253] ₁₀₀	¹⁰¹ Mv [256] ₁₀₁	<div> <div>Порядковый номер</div> <div>Символ</div> <div>Атомный вес</div> <div>Электронные слои</div> </div> <div> <div>26</div> <div>Fe</div> <div>55,85</div> <div>2 8 14 2</div> </div>	
---	---	--	---	---	---	--

ЧИСЛА НАИБОЛЕЕ УСТОЙЧИВЫХ ИЗОТОПОВ

ЭЛЕКТРОННЫЕ СЛОИ

Sanitized Copy Approved for Release 2010/05/10 : CIA-RDP80T00246A050300100001-1

Цена 4 руб. 60 коп.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/05/10 : CIA-RDP80T00246A050300100001-1